

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ Іващенко Є.В.
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

на тему: «Структурно-фазовий стан та мікротвердість поверхні латуні ЛС59-1 за умов ультразвукової ударної обробки в різних атмосферах»

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-71мп
Майборода Михайло Михайлович _____

Керівник:

Асистент, к.т.н., Бурмак А.П. _____

Консультант з оформлення стартап – проекту:

Доцент, к.е.н., Глущенко Я.І. _____

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

Професор, д.т.н., Левченко О.Г. _____

Консультант з нормоконтролю:

Асистент, Шаповалова Н.А. _____

Рецензент: старший викладач, к.т.н. Аршук М.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 «Матеріалознавство» («Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувач кафедри

_____ Іващенко Є.В.

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Майбороді Михайлу Михайловичу

1. Тема дисертації «Структурно-фазовий стан та мікротвердість поверхні латуні ЛС59-1 за умов ультразвукової ударної обробки в різних атмосферах», науковий керівник дисертації Бурмак Андрій Петрович, асистент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «09» листопада 2018 р. №4127 - с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: латунь ЛС59-1
4. Вихідні дані : літературні дані, результати особистого експерименту
5. Перелік завдань, які потрібно розробити : 1) Дослідити мікроструктуру та мікротвердість поверхневих шарів латуні ЛС59-1 під дією ультразвукової ударної обробки в інертному середовищі та на повітрі; 2) Зробити висновки по отриманим експериментальним даним.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу : фотографії мікроструктури, морфології поверхні, графіки, таблиці.
7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Професор, д.т.н. Левченко О.Г.		
оформлення стартап – проекту	Доцент, к.е.н. Глущенко Я.І.		
нормоконтроль	Асистент, Шаповалова Н.А.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	14.09.2018	
2	Виготовлення зразків для проведення УЗУО, вибір середовища обробки	24.09.2018	
3	Проведення УЗУО латуні ЛС59-1 в різних середовищах, на повітрі та в інертному середовищі	01.10.2018	
4	Проведення мікродюрометрії, вимірювання мікротвердості латуні ЛС59-1, дослідження мікроструктури та морфології поверхні зразків методом скануючої електронної мікроскопії	15.10.2018	
5	Визначення фазового складу зразків у вихідному стані та після УЗУО, методом фазового рентгеноструктурного аналізу, проведення хім. аналізу зразків, методом рентгенофлуорисцентного елементного аналізу	29.10.2018	
6	Аналіз та обробка отриманих результатів дослідження	12.11.2018	
7	Розробка стартап-проекту, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	19.11.2018	
8	Оформлення магістерської дисертації, створення презентації	03.12.2018	

Студент

Майборода М.М.

Науковий керівник дисертації

Бурмак А.П.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 82 с., 21 рис., 19 табл., 46 джерел.

УЛЬТРАЗВУКОВА УДАРНА ОБРОБКА, ЛАТУНЬ, ІНТЕНСИВНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, МОДИФІКОВАНИЙ ШАР

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні процеси, які обумовлюють зміцнення поверхневих шарів латуні ЛС59-1 ультразвуковим ударним обробленням в різних середовищах.

Метою роботи є дослідження мікроструктури та мікротвердості поверхневих шарів латуні ЛС59-1 під дією ультразвукової ударної обробки в інертному середовищі та на повітрі.

Методи дослідження – мікродюрOMETричний, рентгеноструктурний аналіз, скануюча електронна мікроскопія, мікрорентгеноспектральний аналіз, рентгенофлуорисцентний елементний аналіз.

Досліджено особливості деформації та зміцнення поверхневих шарів латуні ЛС59-1 в залежності від середовища та тривалості ультразвукової ударної обробки. Проведено комплекс експериментальних досліджень, результати яких виявили фізичну природу значного підвищення мікротвердості латуні ЛС59-1. Основними чинниками структурно-фазового механізму значного підвищення мікротвердості поверхневих шарів латуні ЛС59-1 після ультразвукової ударної обробки на повітрі є комбіновані ефекти деформаційного зміцнення за рахунок високого рівня залишкових макронапружень, диспергування зеренної структури та зміни фазового складу.

Отримані в роботі експериментальні результати та встановлені фізичні закономірності мають практичний інтерес для вдосконалення режимів ультразвукової ударної обробки з метою досягнення високоміцних структурно-фазових станів поверхневих шарів металів та сплавів.

ABSTRACT

Master thesis: 82 pp., 21 pic., 19 tab., 46 sources.

ULTRASONIC IMPACT TREATMENT, BRASS, INTENSIVE PLASTIC DEFORMATION, MODIFIED LAYER

The object of the study is the physical and chemical processes that cause hardening of the surface layers of brass LS59-1 by ultrasonic impact treatment in various environments.

The purpose of the work is to study the microstructure and microhardness of the surface layers of brass LS59-1 under the action of ultrasonic impact treatment in an inert environment and in air.

Methods of investigation - microdyrometric, X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, micro-ray spectral analysis, X-ray fluorescence element analysis.

The peculiarities of deformation and hardening of the surface layers of brass LS59-1, depending on the environment and the duration of ultrasonic impact treatment, were studied. A complex of experimental investigations has been carried out, the results of which have revealed the physical nature of increasing the microhardness of brass LS59-1. The main factors of the structural-phase mechanism of increasing the microhardness of the surface layers of brass LS59-1 after the ultrasonic impact treatment in the air are the combined effects of deformation hardening due to the high level of residual microstresses, dispersion of the grain structure, and phase composition changes.

The experimental results obtained and the physical laws established are of practical interest for improving the ultrasonic impact treatment regimes in order to achieve high-strength structural-phase states of the surface layers of metals and alloys.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Явище ультразвукової ударної обробки (УЗУО).....	10
1.2 Методи ультразвукового ударного зміцнення металевих поверхонь.....	12
1.3 Вплив інтенсивної пластичної деформації на структуру та механічні властивості поверхневих шарів металів та сплавів	16
1.4 Висновки до розділу 1.....	23
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 Об'єкт дослідження та методика ультразвукової ударної обробки	24
2.2 МікродюрOMETричний аналіз	27
2.3 Рентгенівські методи дослідження	29
2.4 Розрахунок залишкових макронапружень.....	30
2.5 Скануюча електронна мікроскопія та мікрорентгено - спектральний аналіз.....	32
2.6 Рентгенофлуорисцентний елементний аналіз.....	33
2.7 Висновки до розділу 2.....	34
3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	35
3.1 Мікротвердість поверхневих шарів латуні ЛС59-1 після УЗУО в нейтральному середовищі та на повітрі	35
3.2 Диспергування зеренної структури після УЗУО на повітрі та в інертному середовищі	36
3.3 Рентгенографічне визначення фазового складу, розмірів кристалітів та залишкових макронапружень модифікованого шару.....	43

3.4	Висновки до розділу 3.....	49
4	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ.....	51
4.1	Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	51
4.2	Висновки до розділу 4.....	61
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
5.1	Аналіз роботи в приміщенні.....	62
5.1.1	Склад повітря робочої зони.....	64
5.1.2	Освітлення.....	65
5.1.3	Аналіз шуму та вібрації.....	66
5.2	Інженерні рішення.....	68
5.2.1	Електробезпека.....	68
5.3	Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям....	69
5.3.1	Пожежна безпека.....	70
5.3.2	Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	72
5.4	Висновки до розділу 5.....	73
	ВИСНОВКИ.....	74
	CONCLUSIONS.....	76
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	78

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

УЗУО	–	Ультразвукова ударна обробка
ПД	–	Інтенсивна пластична деформація
СЕМ	–	Скануюча електронна мікроскопія
ОКР	–	Область когерентного розсіювання
RIR	–	Reference Intensity Ratio
Hv	–	Мікротвердість за методом Вікерса
τ	–	Тривалість обробки
ПСО	–	піскоструминної обробки поверхні
ПЕМ	–	просвічуючий електронний мікроскоп

ВСТУП

Сучасна техніка – потужні машини й механізми, а також унікальні споруди (від звичайних багатоповерхових будівель до атомних електростанцій) – потребує великої кількості традиційних і нових конструкційних матеріалів та сучасних технологій покращення їх механічних властивостей. Створення таких технологій – у відповідь на наявний запит – і є головним завданням сучасного матеріалознавства.

Вчені Інституту металофізики імені Г.В. Курдюмова НАН України впродовж багатьох років досліджують вплив потужного ультразвуку на структуру й фізико-механічні властивості металів і сплавів. Зокрема, за цей час вони створили спосіб ультразвукової ударної обробки (УЗУО) поверхні металів. Суть цієї технології полягає в тому, що робочі елементи (виготовлені з високоміцної сталі кульки або стрижні вагою 3-5 г) із високою частотою (близько 2000 разів на секунду) вдаряють по поверхні виробів. Це найвища частота з усіх відомих ударних методів інтенсивної пластичної деформації (ПД). Така деформація поверхні призводить до суттєвих структурних змін, а іноді – й до фазових перетворень, спричинених складними механо-хімічними процесами. При цьому значно збільшується щільність і міцність поверхні.

Науковці встановили, що в тонкому поверхневому шарі за певних умов утворюється так звана нанокристалічна структура. Ще одним важливим наслідком застосування технології УЗУО є утворення у поверхневих шарах напружень стиснення, що відіграють важливу позитивну роль при втомному навантаженні. Все вищезгадане призводить до підвищення експлуатаційних характеристик і подовження строку служби деталей та елементів конструкцій, що працюють в умовах зношування, впливу корозійних середовищ, а також при втомному навантаженні. Останнє є надзвичайно важливим передусім для зварних конструкцій.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Явище ультразвукової ударної обробки

В сучасній практиці дії ультразвуку на метал отримали розповсюдження наступні методи: ультразвукова ударна обробка, вплив ультразвуку на метал в процесі кристалізації і вплив ультразвуку на метал в твердій фазі. Кожний з методів має свої переваги і недоліки, і вибір методу впливу – складна задача, при вирішенні якої спеціаліст повинен чітко уявляти кінцеву мету. Найбільш ефективна зміцнююча технологія – ультразвукова ударна обробка, оскільки вона дозволяє зміцнювати вже готові деталі, конструкції та зварні з'єднання.

Одним з найбільш ефективних зміцнюючих технологій - ультразвукова ударна обробка (УЗУО). Принципова новизна цього методу полягає в тому, що вперше був реалізований спосіб передачі і трансформації енергії ультразвуку оброблюваному виробу за допомогою переміщення вздовж осі коливальної системи стрижневих ударних елементів (бойків) з малою (щодо несучої частоти стохастичного ударного імпульсу) хвильової довжиною.

Розробка технології УЗУО була спрямована на підвищення ресурсу, втомної міцності, корозійно-втомної міцності, зменшення залишкових зварювальних напружень і деформацій корпусних конструкцій [1].

Ультразвукові коливання наразі широко застосовуються для поверхневого зміцнення металів. Останнім часом зростає кількість пристроїв для даного зміцнення та збільшується варіативність такої обробки [2].

Відомий пристрій для деформаційного зміцнення та наноструктуризації поверхні металів та сплавів. Він представляє собою пристрій у вигляді послідовно з'єднаних перетворювача, концентратора коливань та ємності у вигляді контейнера, в якому розташовані інструменти, що мають форму куль. При цьому ємність жорстко закріплена на торці концентратора, а кулі в ній вільно розташовані на дні. Плaskий зразок щільно закриває контейнер зверху. При включенні ультразвуку увесь контейнер разом із зразком

коливаються з ультразвуковою частотою. Кульки починають рухатись у закритому об'ємі з певною швидкістю за рахунок уданої взаємодії із стінками вібруючої ємності і одна з одною. Траєкторії кульок хаотичні, тому вони здійснюють зіткнення з поверхнею деталі під різними випадковими кутами. Це обумовлює контактно-зсувну схему пластичної деформації, яка сприяє утворенню нанокристалічної структури у поверхневому шарі металів. Обробка за вказаною схемою призводить до утворення на поверхні деталі зміцненого шару з нерівномірною наноструктурою, і нерівномірність зменшується з ростом тривалості обробки [2].

Основними недоліками даного пристрою є: нерівномірність деформаційного зміцнення та наноструктуризації поверхневих шарів, довго тривалість цієї обробки для того, щоб підвищити рівномірність, неможливість оброблювати поверхню зі значною площею та автоматизації цієї обробки, що потрібно сучасних промислових потреб [2].

Відомий також інший спосіб для ультразвукової зміцнюючої обробки і пристрій для його здійснення. Він складається з послідовно з'єднаних перетворювача, ультразвукового концентратора з оправкою на його торці, магнітом навколо оправки і сталевими кулями, які розташовані в один шар між дном оправки і поверхнею деталі. Ультразвукові коливання викликають примусові коливання в невеликому зазорі, які за рахунок ударної взаємодії деформують поверхню деталі і зміцнюють її. Деформуючим елементам надається обертових рух, за допомогою магніту, який створює відповідне магнітне поле. При цьому виникає контактно-зсувна схема пластичного деформування, яка дозволяє більш якісно обробляти металеві поверхні [2].

Такий пристрій має певні недоліки, пов'язані з наявністю магніту, який повинен обертатись навколо оправки, в якій знаходяться кульки, що ускладнює конструкцію пристрою. Крім того, кульки утримуються в оправці за рахунок магнітних сил і при обробці феромагнітних матеріалів вони випадають при підйомі пристрою. Тривала обробка призводить до нагрівання деформуючих елементів і оправки, тому потрібно час від часу переривати

обробку з виключенням пристрою в цілому та охолоджувати, що унеможлиблює автоматизацію ультразвукової ударної обробки [2].

Пристрій МКП В24В містить послідовно з'єднані ультразвуковий генератор, п'єзокерамічний перетворювач, трансформатор коливальної швидкості (ТКШ) і головку у формі стакана з отворами в донній частині, в яких розташовані стрижневі ударні інструменти з конічними потовщеннями на верхніх кінцях, яка утримується на торцевій частині концентратора за допомогою кільцевої пружини, яка входить у відповідну проточку на кінцевій частині концентратора, при чому головка має можливість вільного обертання навколо осі ТКШ, а між стрижневими ударними інструментами і торцем ТКШ закріплено пластмасовий контейнер, заповнений м'яким пористим матеріалом, який насичено змащуючою і охолоджуючою рідною (ЗОР). За рахунок капілярного ефекту ЗОР подається в зону обробки і охолоджує інструменти при тривалій обробці [2].

Недоліком даного пристрою є те, що обертання головки навколо своєї осі при обробці має хаотичний характер, що не дає можливості отримати високу якість поверхні деталі. Цей пристрій не дає отримати контрольовану рівномірну наноструктуру в поверхневому шарі матеріалу. Пластина з високоміцного матеріалу, розташована між торцем і ударними інструментами, поглинає частину кінетичної енергії ударів, що знижує ефективність обробки та механічні властивості деталі, що обробляється [2].

1.2 Методи ультразвукового ударного зміцнення металевих поверхонь

В основі відомих способів ультразвукової ударної обробки поверхонь деталей та зварних з'єднань, при якому обробку проводять на повітрі, використовують ультразвуковий вібраційний інструмент, рухомі ударні елементи високої міцності якого нормовано притискаються до оброблюваної поверхні. Інтенсивність коливань ударних елементів забезпечують за

допомогою ультразвукового перетворювача коливальної швидкості, з вихідним торцем якого контактують ударні елементи високої міцності.

Серед відомих способів ультразвукової ударної обробки можна виділити два напрямки їх застосування: способи, спрямовані на зміцнення поверхні і способи, призначені для зняття залишкових напружень у зварних з'єднаннях.

До першої групи належать такі відомі способи:

Відомий спосіб [4] для ультразвукової зміцнюючої обробки і пристрій для його здійснення, який складається з послідовно з'єднаних перетворювача, ультразвукового концентратора з оправкою на його торці, магнітом навколо оправки і сталевими кулями, які розташовані в один шар між дном оправки і поверхнею деталі. Ультразвукові коливання викликають примусові коливання куль в невеликому зазорі, які за рахунок ударної взаємодії деформують поверхню деталі і зміцнюють її. Деформуючим елементам надається обертовий рух, за допомогою магніту, який створює відповідне магнітне поле. При цьому виникає контактна зсувна схема пластичного деформування, яка дозволяє більш якісно обробляти металеві поверхні.

Відомий спосіб ультразвукової ударної обробки [5], при якій робочу поверхню інструменту притискають до оброблюваної поверхні і надають їм переміщення відносно один одного.

Відомий спосіб [6] ультразвукової фінішної обробки поверхні, в якому процес обробки поверхні проводять при умові переміщення робочої поверхні акустичного інструменту, встановленого під кутом $q = 110^\circ$ до осі акустичної системи, скануючи по всіх точках поверхні складного профілю матеріалу, що обробляється, при цьому деталь крутять в процесі обробки.

Відомий спосіб [7] ультразвукової віброударної обробки поверхні довгомірних виробів, при якому ультразвуковий перетворювач, зв'язаний з робочими інструментами, притискають нормовано до поверхні виробу і надають їм переміщення відносно один одного.

До другої групи належать такі відомі способи:

Відомий спосіб ультразвукової ударної обробки деталей та зварних з'єднань [8], при якому обробку проводять, використовуючи ультразвуковий вібраційний інструмент, рухомий ударний елемент якого нормовано притискають до оброблюваної поверхні, інструмент переміщують відносно оброблюваної поверхні, а необхідну інтенсивність коливань ударного елемента забезпечують за допомогою ультразвукового перетворювача, з вихідним торцем якого контактують ударні елементи. При цьому використовуються згинальні коливання ударного елемента ультразвукового інструменту.

Відомий спосіб [9] ультразвукової ударної обробки зварних з'єднань, при якому ультразвуковий робочий інструмент нормовано притискають до оброблюваної поверхні і переміщують його відносно цієї поверхні. При цьому застосовують осьове переміщення ударних елементів, які контактують з вихідним торцем трансформатора коливальної швидкості ультразвукового перетворювача і коливаються з амплітудою (5-10) мкм.

Відомий спосіб обробки зварних металоконструкцій, переважно із сталей [10], що включає обробку ультразвуковим ударним інструментом зони металоконструкції, яка прилягає до зварного шва, створення нормованих за величиною і характером розподілу залишкових напружень стиснення в навколо шовній зоні, а обробку здійснюють з амплітудою зміщення вихідного торця перетворювача.

Відомий спосіб [11] ультразвукової ударної обробки зварних з'єднань, який полягає в тому, що обробку проводять, використовуючи ультразвуковий вібраційний інструмент, рухомі ударні елементи якого нормовано притискають до оброблюваної поверхні, інструмент переміщують відносно оброблюваної поверхні, а необхідну інтенсивність коливань ударних елементів забезпечують за допомогою ультразвукового трансформатора коливальної швидкості, з вихідним торцем якого контактують ударні елементи.

Недоліками всіх наведених відомих способів ультразвукової ударної обробки поверхонь є зміна фізико-хімічного стану металевих поверхонь при інтенсивних режимах такої обробки на повітрі. Механізм і кінетика механохімічного синтезу міцного оксидного покриття товщиною в декілька десятків мікрометрів при ультразвуковій ударній деформації на повітрі опублікований в недавніх публікаціях [12-13]. Концентрація кисню може досягати при цьому 60 %. Колір поверхні чорний. Даний процес обумовлений дією прикладеної механічної енергії, що викликає зміну структурно-чутливих властивостей матеріалу в результаті генерації дефектів кристалічної структури. Зміна фізико-хімічного стану металевих поверхонь зумовлює погіршення механічних властивостей поверхні і об'єму оброблюваних деталей і зварних швів.

Іншим суттєвим недоліком відомих способів ультразвукової ударної обробки поверхонь є локальне підвищення температури в місці контакту ультразвукового ударника з поверхнею матеріалу, викликана дисипацією механічної енергії.

Найбільш близьким до запропонованого способу по сукупності ознак і технічному результату є спосіб ультразвукової віброударної обробки поверхні довгомірних виробів [13], при якому ультразвуковий перетворювач, зв'язаний з робочими інструментами, притискають нормовано до поверхні виробу і надають їм переміщення відносно один одного, а обробку ведуть ультразвуковими перетворювачами, розміщеними вздовж лінії наданого виробу переміщення і по його профілю в кількості, необхідній для нанесення на одиницю поверхні виробу заданого по технології числа ударів, до вихідних кінців яких попередньо пружно притискають вхідні торці робочих інструментів, причому сили удару і притиску робочих інструментів вибирають по заданій глибині пластичної деформації матеріалу виробу.

В даній роботі поставлена задача вирішується тим, що ультразвукова ударна обробка проводилась, як на повітрі так і в інертному газовому

середовищі (наприклад, аргону або гелію), подаваного безпосередньо в зону обробки.

1.3 Вплив інтенсивної пластичної деформації на структуру та механічні властивості поверхневих шарів металів та сплавів

У роботі [17] досліджено впливу піскоструминної обробки і подальшого відпалу на виникнення нанорозмірних зерен в латуні ($\text{Cu}_{70}\text{Zn}_{30}$). Для піскоструминної обробки поверхні (ПСО) використовувався порошок SiC, який подавався на поверхню зразка під тиском 300 кПа протягом 10 хвилин. Швидкість піщаного потоку становила 5 г/с. Середня шорсткість обробленої поверхні була приблизно 3 мкм. Після ПСО зразки відпалювали при температурах 150 °C, 250 °C, 350 °C, 500 °C і 600 °C протягом 1 год з подальшим охолодженням на повітрі. Перед дослідженням зразки полірувалися порошком оксиду алюмінію (0,05 мкм) і протравлювались в розчині $\text{FeCl} + \text{HCl}$. Частина зразків піддавалася пасивації в розчині 3,5 % NaCl протягом 24 год, після якої на поверхні латуні формується пасивуючий шар з ZnO , CuCl і Cu_2O [37]. Методом оптичної мікроскопії встановлено, що товщина модифікованого поверхневого шару становить близько 25 мкм. Однак цей метод не дозволив визначити розмір зерен в зразку, відпаленому після ПСО при 150 °C. З цією метою була використана просвічуюча електронна мікроскопія (ПЕМ). На рис. 1.1, а і б наведено світлопольні і темнопольні зображення в ПЕМ для поперечного перерізу приповерхневої області. На цих знімках видно ультратонкі рівноосні зерна, середній розмір яких становив близько 20 нм. Дані електронографічного аналізу показують, що такі зерна мають випадкову орієнтацію (рис. 1.1, а). Після відпалу при 250 °C, 350 °C, 500 °C і 600 °C розмір зерен істотно збільшується (табл. 1.1). Середній розмір зерен становить 0,5 мкм, 6 мкм, 30 мкм і 80 мкм, відповідно. Для порівняння відзначимо, що середній розмір зерна у необробленого зразка становить 25 мкм.

Таблиця 1.1 - Середній розмір зерна, мікротвердість і коефіцієнт для різних температур відпалу [17]

Температура отжига, °С	Размер зерна, нм	HV	ξ , %
150	20	342,1	31,4
250	500	241,4	24,7
(поверхность)			
250	1200	232,9	23,1
(15 мкм от поверхности)			
350	6000	177,7	20,6
Исходный	25 000	154,2	17,9
образец			
500	30000	127,5	17,3
600	80000	115,1	16,1

Результати вимірювання мікротвердості обробленої поверхні при навантаженні 30 мН наведені в табл. 1.1. Як видно з цієї таблиці, зразки після ПСО мають твердість в три рази вищу, ніж у вихідних зразках.

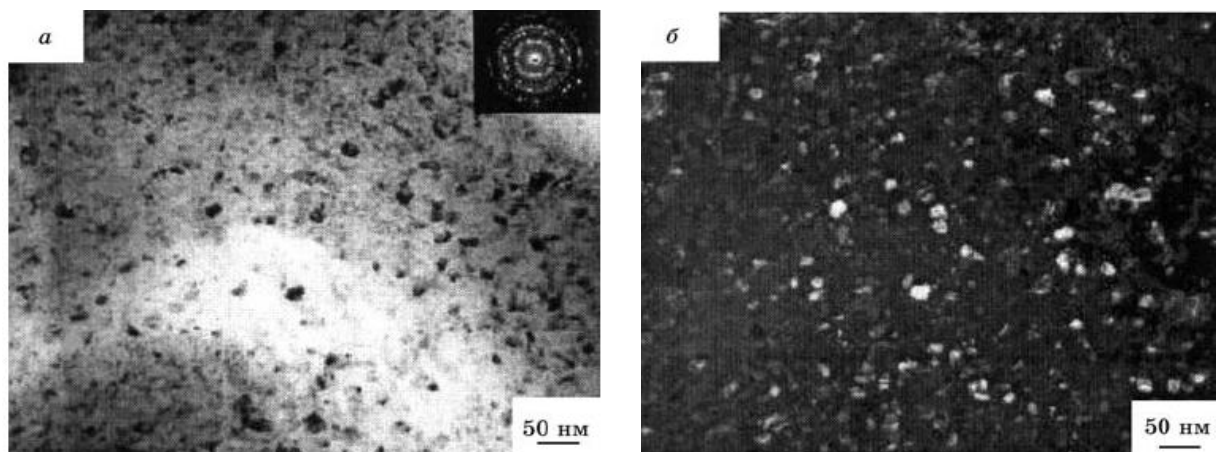


Рисунок 1.1 – Світлопольне (а) і темнопольне (б) зображення нанокристалічного поверхневого шару латуні [36]

Оцінки Hv в залежності від середнього розміру зерна d показали, що ця залежність є лінійною для $d^{1/2}$, однак, як видно з рис. 1.2, є дві чітких ділянки на графіку $Hv \sim d^{1/2}$ з

різним кутом нахилу при $d = 1,2$ мкм. Нижче цього критичного розміру ефективність зміцнення з підвищенням щільності міжзеренних границь стає слабкішою. Іншими словами, нахил на графіку $Hv \sim d^{-1/2}$ в наноструктурній області зменшується. Можна припустити, що цей ефект обумовлений підвищенням ймовірності ковзання по границях зерен, коли розмір зерен знижується до нанорозмірної величини.

Як видно з табл. 1.1, нанокристалізація в поверхневому шарі збільшує пружну характеристику η (рис. 1.3). Це пояснюється тим, що межа пружності або межа плинності підвищуються, так як границі нанозерен є перешкодами руху дислокацій. Величина η підвищується для зразка з зернами в 20 нм практично в два рази в порівнянні зі зразком, відпаленому при 600 °С і мають зерна до 80 мкм. Випробування на зносостійкість проводилося методом дряпання алмазною голкою при постійному навантаженні. Ширина і глибина утворюваних канавок характеризують зносостійкість поверхневого шару. Результати таких випробувань показали, що найбільш вузькі і різкі канавки отримані для зразка, відпаленого при 150 °С, тоді як більш широкі і глибокі канавки отримані після відпалу при 600 °С. Отже, при збільшенні розміру зерен від 20 нм до 80 мкм зносостійкість поверхні істотно знижується.

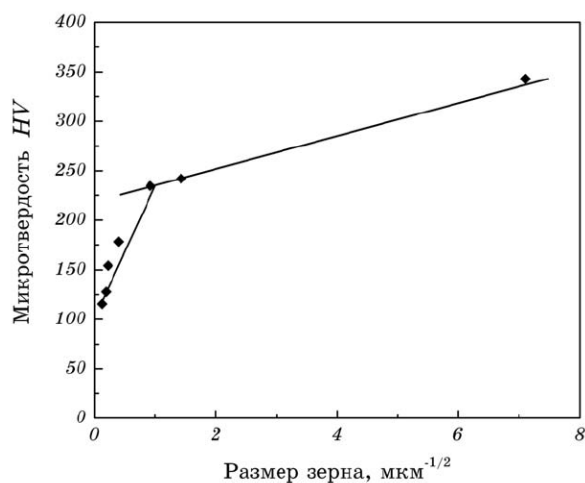


Рисунок 1.2 – Залежність мікротвердості від розміру зерна [17]

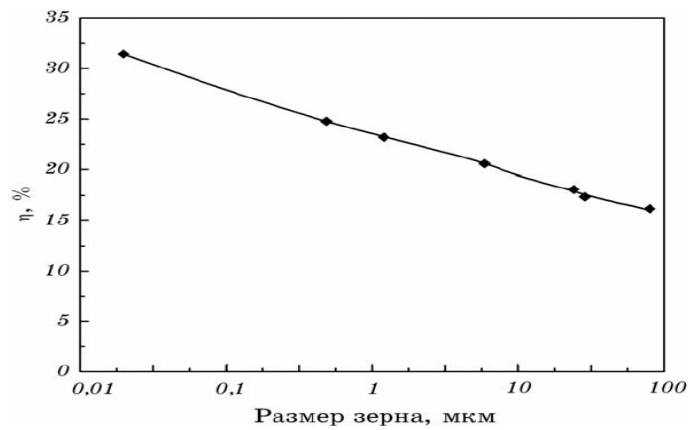


Рисунок 1.3 – Залежність відношення пружної деформаційної енергії до загальної деформаційної енергії (η) від розміру зерен [17]

В роботі [17] досліджено також корозійні характеристики латуні після ПСО. В хлоридному середовищі на поверхні латуні утворюється пасивна поверхнева плівка, яка складається з CuCl , ZnO і Cu_2O [18-20]. Для металевих сплавів дуже важливо, щоб така плівка була стійкою по відношенню до електрохімічних реакцій.

В роботі [22] представлені результати дослідження впливу ультразвукової ударної обробки на втомну міцність природно зістареного сплаву 7075-T6511. Зразки 7075-T6511 були виготовлені з панелей покриття крила літака. Проведено неруйнівну ультразвукову перевірку для визначення глибини пошкодження корозії від плівки. Деякі з пошкоджених зразків обробляли з використанням УЗУО. Випробування на втомну міцність проводили для зразків до та після УЗУО. За допомогою скануючої електронної мікроскопії проводили фрактографічний аналіз для визначення механізму зародження тріщини. Попередні результати показали, що УЗУО дає можливість збільшити зношуваність зразків алюмінієвого сплаву 7075-T6511. УЗУО дозволила змінити механізм зародження тріщини, що призвело до значного збільшення втомної міцності. Для повністю зістареного зразка, УЗУО трохи покращив параметр втомленості, але тріщина все ж зародилася в результаті міжкристалічного розтріскування, яку вже не можна було видалити процесом УЗУО.

У роботі [24] досліджено поєднання процесу шліфування та ультразвукової ударної обробки в активному середовищі. Комбінація цих процесів пропонується для покращення втомної міцності підводних зварних з'єднань. Використання одного методу шліфування або ультразвукової обробки в активному середовищі не може істотно покращити стан втомлюваності, тоді як комбінація двох методів може призвести до значного підвищення втомної міцності. Мікроструктура зварного з'єднання містить доевтектоїдний ферит, ферит пластинчастий та голчастий ферит, а в мікроструктурі в зоні дії у УЗУО переважає мартенсит. Поперечні залишкові напруження на поверхні зварного з'єднання є стискаючими у зв'язку з швидким охолоджувальним впливом води, і вони менші в зварному з'єднанні, ніж після УЗУО, що призводить до зародження втомної тріщини в зварному з'єднанні.

Автори роботи [25] використали модель Наварро-Ріоса для дослідження параметрів втомної міцності нержавіючої сталі AISI304, обробленої методом ультразвукової ударної обробки. Модель кінцевих елементів була створена за допомогою моделі Джонсона-Кука, щоб отримати необхідні залишкові напруження та профілі вм'ятин, в моделі розглядалися також дефекти будови. Результати моделювання показали, що втомна міцність підвищується зі збільшенням покриття, але не розвивається при збільшенні швидкості удару, коли вона досягає рівня для збільшення концентрації напружень.

Результати роботи [26] вплив вплив повторної ультразвукової ударної обробки з різними інтервалами втомного циклу між двома УЗУО на термін експлуатації зварних з'єднань сталі S690QL. Результати визначення втомленості показали, що повторна УЗУО збільшила параметр втомлюваності, коли інтервал втоми циклу між двома УЗУО був відповідний. Вплив залишкових напружень, які виникають при повторній УЗУО, до стану втомленості був незначним при кімнатній температурі. Пошкодження, викликані УЗУО, були підтверджені дослідженням на оптичному мікроскопі

та скануючому електронному мікроскопі. Враховуючи, що УЗУО може закривати тріщини, ефект впливу повторного УЗУО на втомленість сильно залежить від конфлікту між закриттям тріщин та одночасним процесом формування нових пошкоджень.

У роботі [27] досліджували зміну структури грубозернистого нікелю внаслідок ультразвукової ударної обробки. Для цього комерційно чистий нікель був відпалений при температурі 1300 °С протягом 1 години для отримання грубозернистої структури з низькою щільністю дислокації. На електролітично відполірованій поверхні зразка розміром (2×2) мм² досліджено методом EBSD. Далі, зразок було піддано УЗУО з амплітудою, навантаженням 20 МПа, а оброблена область була відполірована і досліджена знову. Рентгеноструктурний аналіз та вимірювання мікротвердості проводилися до і після УЗУО. Показано, що ультразвукова ударна обробка призводить до утворення дислокацій, збільшення частки низькокутових границь, зміни форми та границь зерен. Виявлено та описано залежність структурних параметрів та мікротвердості від амплітуди УЗУО.

У дослідженні [28] комерційно чистий нікель обробляли рівноканальним кутовим пресуванням через маршрут на 12 каналів, щоб одержати ультратонкозернисту мікроструктуру та додатково піддавали ультразвуковій ударній обробці (УЗУО), при максимальній амплітуді, еквівалентну аномальним навантаженням 100 МПа в стаціонарному режимі. Було зазначено, що ультратонкозерниста мікроструктура Ni може бути змінена в залежності від положення в зразку, тобто від амплітуди ультразвукової хвилі. Мікроструктурний аналіз продемонстрував нижчу щільність дислокації (через активацію відновлення) у поперечному перерізі зразка, що піддавався УЗУО, з амплітудою, рівною 0,8 від максимального, плюс підвищення твердості в поперечному перерізі з максимальною амплітудою.

У роботі [29] оцінювали взаємозв'язок, який може з'явитися між різними методами ремонту, для певного типу дрібних деталей. Вибрана для

дослідження деталей - це зварне з'єднання між плитою та кришкою, що дуже часто використовується у старих мостах. Зокрема, в даному дослідженні було досліджено покращення параметру втомленості, що забезпечується трьома модифікованими методами: після встановлення та натягу болтів в місцях зварних швів застосування методу ультразвукової ударної обробки (УЗУО) до зварювання, після зварювання та комбінація обох методів.

Встановлено, що УЗУО є високоефективною технікою для підвищення параметру втомленості деталей. Обробка зварних з'єднань ультразвуковою ударною обробкою, призвела до покращення експлуатаційного зносу над контрольними зразками у 25 разів. Встановлено, що комбінація цих двох методів менш ефективна, ніж використання тільки УЗУО, внаслідок напружень викликаних болтом на необробленій частині зварного шва.

У роботі [30] проведено застосування ультразвукової ударної обробки на спицях литого алюмінію (AlSi11Mg) колісних дисків та його впливу при широкому спектрі навантажень. Після попередніх досліджень зразків, витягнутих зі спиць для налагодження параметрів обробки, проводились випробування на втому, вимірювання залишкових напружень та металографічного аналізу не оброблених та оброблених спиць.

Механічні наслідки УЗУО являють собою значну зміну мікроструктури, пористості та твердості. Застосування ультразвукової ударної обробки вводить пластичні деформації і, отже, стискові залишкові напруження на поверхні.

Параметр втомленості суттєво зріс порівняно з неочищеними спицями при постійному та змінному амплітудному навантаженні.

УЗУО-технологія обіцяє високий потенціал для поліпшення структурної міцності, безпечності та економії матеріалу при виробництві литих алюмінієвих коліс.

Результати одержані в роботах застосуванню УЗУО для зміцнення сплавів на основі алюмінію, заліза та титану свідчать про високу ефективність даного методу обробки. Роботи присвячені ПД різних марок

латуней та сплавів на основі міді свідчать про можливість формування високоміцних, зносостійких та корозійностійких шарів з нанокристалічною зеренною структурою.

Щодо досліджень впливу ультразвукової ударної обробки на структуру та властивості латуней, то їх обсяг досить обмежений. Тому завдання встановлення закономірностей та структурно – фазових механізмів дії інтенсивного ультразвуку на фізико – механічні властивості латуні ЛС59-1 є актуальною задачею сучасного фізичного матеріалознавства, як з наукової, так і з практичної точок зору.

1.4 Висновки до розділу 1

В результаті обробки та аналізу наукових робіт та публікацій, в яких проведено дослідження та описано вплив інтенсивної пластичної деформації на механічні властивості сплавів на основі Cu-Zn, Al, Ti, Al-Mg, Ni можна зробити такі висновки:

1. УЗУО підвищує зносостійкість, механічні та фізико-хімічні властивості, параметр стомленості та інші властивості сплавів.
2. Значний інтерес становить вивчення можливості використання УЗУО в інертному середовищі та на повітрі для досягнення високоміцних станів поверхневих шарів сплаву ЛС59-1.
3. Внаслідок застосування УЗУО з'являється локальна неоднорідність фазового складу сплаву та неоднорідність структури його поверхні.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкт дослідження та методика ультразвукової ударної обробки

Об'єкт дослідження – багатокомпонентна латунь ЛС59-1 промислового виробництва (склад (ваг. %): Cu – 58,9 %, Zn – 39,6 %, Pb – 1,04 %). Зразки мали циліндричну форму: висота 8 мм і діаметр 15 мм. Зразки одержувались шляхом різання з прутків перпендикулярно напрямку прокатки.

Автоматна багатокомпонентна латунь ЛС59-1 знайшла найбільш широке застосування серед латуней оброблюваних тиском. Відповідно до класифікації даний багатокомпонентний сплав оброблюється тиском, але на практиці він застосовується частіше в якості автоматного сплаву. Легування сплаву ЛС59-1 свинцем дозволяє застосовувати його в якості автоматного, і більш ефективно обробляти різанням, з отриманням дрібної стружки.

Фазовий склад сплаву має малу кількість речовини в β -фазі, а свинець становить в ньому окрему фазу, тому він добре оброблюється тиском і різанням. Проте, за рівнем пластичності латунь ЛС59-1 значно поступається двохфазним сплавам і рекомендується для обробки різанням.

Даний сплав володіє антифрикційними властивостями і може застосовуватися при виготовленні дрібних деталей, розрахованих для роботи при високому терті, наприклад, підшипників ковзання. Так як він має більш високу твердість, ніж прості сплави, і стійкий до стирання, листові заготовки з нього можливо застосовувати для виготовлення напрямних елементів різних верстатів.

Деталі виготовлені з латуні ЛС59-1 з надрізами мають схильність до надлому при високому тиску, тому не можуть бути використані в якості несучих елементів.

Після обробки заготовок з латуні ЛС59-1, в матеріалі не створюються сильні напруження, свинець утворює окрему фазу, з цієї причини, він більш

стійкий до сезонне розтріскування, що виявляється при підвищенні вологості і температури навколишнього середовища, в чому перевершує Л68 і Л63.

В цілому ж наш багатокомпонентний сплав стійкий до корозії, при тих же умовах, як і більшість латуней. Його не слід застосовувати в контакті з Fe, Al, Zn.

Завдяки невисокій вартості, високій твердості, хорошій оброблюваності на верстатах, антифрикційним властивостям і корозійній стійкості ЛС59-1 широко застосовується у всіх видах виробництва. З цього сплаву масово випускаються різні заготовки. З нього виготовляють шестерні, втулки, зубчасті колеса, поковки, кріплення, труби.

Крім того, що з ЛС59-1 виготовляють деталі на верстатах, з нього виготовляють і елементи конструкцій самих верстатів, зокрема напрямні для руху кареток верстатів. Такі напрямні не деформуються і не стираються з часом. При цьому вартість таких виробів невелика.

Ультразвукова ударна обробка проводилась на виготовленому в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України приладі УЗГ–300. Дана установка складається з ультразвукового генератору із частотою 21 кГц та потужністю 0,6 кВт, вібратора зі ступінчастим концентратором, на якому за допомогою пружин розміщується ударна головка з сімома циліндричними бойками діаметром 5 мм та довжиною 18 мм. Ударна головка примусово обертається під час обробки, що дозволяє здійснювати деформацію поверхні ударною імпульсною дією з частотою $\nu \sim 1...3$ кГц [2].

Така конструкція дозволяє проводити рівномірну деформаційну обробку в автоматизованому режимі з отриманням рівномірного рельєфу, проводити охолодження системи деформуючих елементів стисненим повітрям в процесі обробки, та легко замінювати їх в разі необхідності. Заданий ступінь деформаційного зміцнення забезпечується вибором наступних параметрів: амплітуди ультразвукових коливань торця, швидкості обертання тримача з деформуючими бойками [11].

Коливання торця концентратора за рахунок ударної взаємодії передається

бойкам, які деформують поверхню зразка. Потім вмикається токарний станок в режимі автоматичного переміщення супорта по ходовому гвинту, що забезпечує осьове зміщення пристрою відносно поверхні зразка, який залишається нерухомим. При цьому обертання державки з регульованою швидкістю, яка задається напругою на електродвигун, підвищує рівномірність деформаційного зміцнення та якість поверхні. В умовах тривалої обробки включається подача стисненого повітря через вхідний патрубок та пази, що забезпечує охолодження системи в процесі обробки.

Ультразвукова ударна обробка проводилась на повітрі та в інертному середовищі за умов квазі-гідростатичного стиснення зразка.

В цьому випадку зсувна компонента навантаження відсутня, використовується один боек, оброблюваний зразок розміщується у спеціальній сталій оправці, в яку заглиблюється на 2 мм (рис. 2.1).

Таким чином у процесі контактної обробки зразок весь час знаходиться у зоні дії ударника у замкненому об'ємі, тобто в умовах, наближених до квазі-гідростатичного стиснення. Тривалість обробки за такою схемою змінювалась від 5 с до 50 с. Амплітуда торця концентратора при обробці складала $A = 25$ мкм, енергія удару ~ 6 мДж.

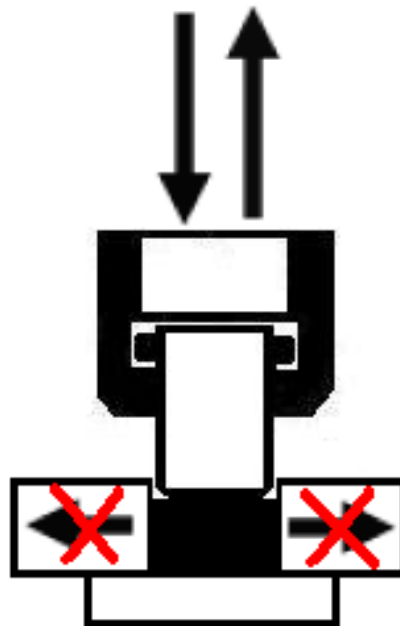


Рисунок 2.1 – Схема УЗУО за квазі-гідростатичного стиснення зразка [14]

Зміною амплітуди коливання УЗ-ударника і тривалості УЗУО забезпечувався ступень істинної деформації і швидкості деформації в інтервалах $\epsilon = 0,1 - 5,0$ та $\dot{\epsilon} = 0,1 - 1,1 \text{ с}^{-1}$, відповідно. Максимальний ступень істинної деформації при УЗУО близький до значення, яке досягається за відомим способом ПДД крученням під тиском (наковальня Бріджмена).

2.2 МікродюрOMETричний аналіз

Вимірювання мікротвердості проводилось з використанням приладу ПМТ-3М – за методом Вікерса. Метод ґрунтується на визначенні за допомогою мікроскопу лінійної величини діагоналі відбитка, який отримано в результаті втискання алмазної пірамідки в досліджуваний матеріал під певним навантаженням.

Вимірювання проводилось у вихідному стані, після обробки за різними режимами УЗУО, після термічної обробки. Кількість вимірювань для кожного зразка – 20: 10 – в центрі та 10 – на краю зразка; потім вираховувалось середнє значення мікротвердості. Побудовано криву навантаження та визначено оптимальну величину навантаження для даних зразків. Всі вимірювання мікротвердості проводились при навантаженні 100 г.

Основні дані приладу ПМТ-3:

- а) загальне збільшення мікроскопу з укомплектованими об'єктивами становить $\times 487$ та $\times 130$;
- б) переміщення предметного столика відбувається за рахунок двох мікрогвинтів в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Ціна поділки барабана гвинтів 0,01 мм;
- в) алмазна пірамідка має квадратну основу і кут при вершині 136° між протилежними гранями;
- г) навантаження на алмазну пірамідку відбувається за рахунок гирь від 2 г до 200 г.

Об'єктиви приладу ПМТ-3 розраховані для роботи з тубусом «нескінченність». Об'єктиви з фокусною відстанню 23,2 мм необхідні для

центрування. Об'єкти з фокусною відстанню 6,2 мм необхідний для вимірювання відбитків. Зображення відбитків індентора фіксувались за допомогою цифрової фотокамери.

Ціна поділки барабана гвинтового окуляр–мікрометра E визначається за наступною формулою:

$$E = \frac{T \times Z}{A}, \quad (2.1)$$

де T – число поділок об'єкт–мікрометра,

Z – ціна поділки об'єкт–мікрометра,

A – різниця відліку окулярного мікрометра.

Значення мікротвердості H розраховувалось за формулою:

$$H = \frac{1854,4P}{C^2}, \text{ кгс/мм}^2 \quad (2.2)$$

де P – навантаження в грамах,

C – діагональ відбитка.

2.3 Рентгенівські методи дослідження

Визначення фазового складу проводились з використанням рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV (рис. 2.2). Даний прилад дозволяє визначати: кількісний та якісний фазовий склад досліджуваного матеріалу, період кристалічної ґратки, розмір областей когерентного розсіювання (ОКР), ступінь деформації кристалічної ґратки, величину залишкових макронапружень методом $\sin^2\psi$, кристалографічну орієнтацію кристалів, ступінь кристалічності та товщину нанесених покриттів.



Рисунок 2.2 – Рентгенівський дифрактометр Rigaku Ultima IV

В рентгенівському дифрактометрі застосовується схема фокусування дифракційних максимумів за Брегом – Брентано. Зразок встановлюється таким чином, що вісь обертання дифрактометра лежить в площині зразка і нормаль до поверхні зразка є бісектрисою кута, утвореного падаючим пучком рентгенівських променів і відбитим пучком, який потрапляє в лічильник. Кутова швидкість переміщення лічильника в двічі більша швидкості повороту зразка, завдяки чому залишається незмінною геометрія зйомки [15].

Дослідження всіх зразків проведено в мідному випромінюванні ($\text{Cu}_{\text{K}\alpha} = 0,15418 \text{ nm}$). Для дослідження зразків використано схему фокусування за Брегом-Брентано. Умови проведення досліджень: досліджений інтервал кутів $2\Theta = 10^\circ\text{-}120^\circ$, крок зйомки – $0,04^\circ$, час витримки в точці – 2 с; тривалість зйомки одного зразка – 90 хв.

Аналіз отриманих рентгенівських спектрів та проведення кількісного та якісного фазового аналізу здійснено з використанням програмного забезпечення PDXL, міжнародної бази даних дифракції ICDD (PDF-2) та відкритої бази кристалографічних даних COD. PDXL є інтегрованим

програмним комплексом для проведення рентгенофазового аналізу порошкових дифрактограм. Розрахунок розміру областей когерентного розсіяння (ОКР) та ступінь деформації кристалічної ґратки проведено за методом Халдера-Вагнера. Кількісний фазовий аналіз проведений методом RIR (Reference Intensity Ratio). Метод RIR полягає в порівнянні відношення інтенсивностей найбільш сильних рефлексів фази і корунду в їх суміші з масовими частками.

2.4 Розрахунок залишкових макронапружень

Під макронапруженнями (зональні напруження або напруження 1-го роду) розуміють напруження, які підкоряються закону Гука і врівноважені в об'ємі всього матеріалу або в більшій його частині.

Основою рентгеноструктурного методу визначення макронапружень є те, що міжплощинні відстані d в усіх кристалітах матеріалу, однаково орієнтовані по відношенню до діючих пружних напружень, змінюються однаково, тобто $\Delta l/l = \Delta d/d$, де $\Delta l/l$ – відносне видовження l зразка.

Виходячи із цього співвідношення, для одновісного розтягу величина пружних напружень визначається за формулою:

$$\sigma = (E/\nu) \operatorname{ctg} \theta \Delta \theta, \quad (2.3)$$

де E – модуль пружності,

ν – коефіцієнт Пуассона,

$\Delta \theta$ – зміщення рентгенівської лінії під дією пружних напружень.

Будь-який об'ємно напружений стан зразка можна описати дією трьох головних нормальних напружень (σ_1 , σ_2 і σ_3). Враховуючи особливість рентгенографічного визначення деформації в поверхневому шарі (~10 мкм), прийнято для більшості випадків розглядати плосконапружений стан. Тоді величина деформації в трьох головних напрямках визначається як:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \left(\frac{1}{E}\right) (\sigma_1 - \gamma\sigma_2); \\
\varepsilon_2 &= \left(\frac{1}{E}\right) (\sigma_2 - \gamma\sigma_1); \\
\varepsilon_3 &= \left(\frac{1}{E}\right) (\sigma_1 + \sigma_2).
\end{aligned}
\tag{2.4}$$

Рентгенографічний метод дозволяє визначити величину напружень σ_φ в площині дії напружень σ_1 і σ_2 . Якщо рентгенівський промінь падає на зразок так, що утворюється кут ψ з нормаллю до поверхні і азимутальний кут φ з компонентою σ_1 . Тоді величина деформації в напрямку первинного променя становитиме:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{\varphi,\psi} &= \frac{1+\nu}{E} \sigma_\varphi \sin^2 \psi + \varepsilon_\perp, \\
\text{де } \sigma_\varphi &= \sigma_1 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi.
\end{aligned}
\tag{2.5}$$

З рівняння (2.4) слідує, що для визначення σ_φ достатньо знати зміну міжплощинної відстані при двох значеннях ψ :

$$\sigma_\varphi = \frac{E}{1+\nu} \frac{\frac{d_{\varphi,\psi_2} - d_0}{d_0}}{\sin^2 \psi_2 - \sin^2 \psi_1} = \frac{E}{1+\nu} \frac{1}{d_0} \frac{d_{\varphi,\psi_2} - d_{\varphi,\psi_1}}{\sin^2 \psi_2 - \sin^2 \psi_1} = \frac{E}{1+\nu} m,
\tag{2.6}$$

де d_0 – міжплощинна відстань в ненапруженому зразку.

Для підвищення точності результатів вимірювань необхідно проводити декілька зйомок, при різних кутах ψ .

Величина залишкових макронапружень для латуні ЛС59-1 у вихідному стані та після різних режимів УЗУО визначалась методом $\sin^2 \psi$ за дифракційним максимумом (311), з кутом нахилу $\psi=0-40^\circ$, кроком $0,02^\circ$ та часом витримки 2 с.

2.5 Скануюча електронна мікроскопія та мікрорентгеноспектральний аналіз

Для дослідження мікроструктури та хімічного складу поверхні та поперечного перерізу зразків використовувався скануючий електронний мікроскоп РЕММА-106И (рис. 2.3) з енергодисперсійним аналізатором (ЭДАР). В режимі зйомки поверхні зразків прискорююча напруга становила 30 кеВ, збільшення складало від 500 до 3000 разів.

Головними перевагами СЕМ є можливість спостерігати мікроструктуру поверхні як масивних зразків, так і тонких плівок без попередньої підготовки, висока інформативність, яка обумовлена можливістю отримання зображення, при використанні методів реєстрації. За допомогою СЕМ можна спостерігати поверхню зразка з розподільною здатністю до 3,0 нм та отримувати зображення у вторинних електронах з корисним збільшенням до 250000; вивчати структуру та топографію поверхні при пошаровому травленні [16].

Система енергодисперсійного рентгенівського мікроаналізу призначена для експрес-аналізу хімічного складу поверхні твердого тіла в мікрооб'ємах, з мікронним розділенням, методом реєстрації енергії та інтенсивності характеристичного випромінювання, що генерується під час бомбардування зразка сфокусованим електронним променем. Ця система являє собою спектрометр енергій рентгенівського випромінювання в діапазоні 1 кеВ – 40 кеВ. За допомогою спектрометра здійснювався кількісний елементний аналіз як на поверхні зразків після УЗУО, так і по товщині модифікованого шару.



Рисунок 2.3 – РЕММА-106И з енергодисперсійним аналізатором (ЭДАР)

Також для дослідження мікроструктури та хімічного складу поверхні і поперечного перерізу зразків використовувався скануючий електронний мікроскоп TESCAN Mira 3 LMU обладнаний енергодисперсійним мікроаналізатором OXFORD X-MAX 80 мм² та 3D інтерференційним профілометром “Micron-alpha”. В режимі зйомки поверхні зразків прискорююча напруга становила 30 кВ, збільшення складало від 1780 до 10000 разів.

2.6 Рентгенофлуорисцентний елементний аналіз

Визначення хімічного складу проводились на аналізаторі EXPERT 3L (рис. 2.4). Даний прилад дозволяє вимірювати масову частку (%) основних хімічних елементів, що входять до хімічного складу тіла (злитки, прокат, дріт, деталі, порошок) зі сталей і сплавів та ін. матеріалів неруйнівним методом рентгенофлуоресцентного аналізу.

Метод аналізу – енергодисперсійний рентгенофлуорисцентний елементний аналіз за методом фундаментальних параметрів зі збудженням характеристичного випромінювання атомів проби фотонами гальмівного

спектра низько потужної рентгенівської трубки і реєстрації цього випромінювання напівпровідниковим детектором з термоелектричним охолодженням.

Діапазон вимірювання хімічних елементів: від магнію (12Mg) до урану (92U).



Рисунок 2.4 – Рентгенофлуорисцентний аналізатор EXPERT 3L

2.7 Висновки до розділу 2

1. Зразки для УЗУО в інертному середовищі та на повітрі отримані із прутка латуні ЛС59-1, що дозволило оцінити вплив даної обробки на готові деталі та конструкції.

2. Використаний комплекс сучасних фізичних методів дослідження дозволив встановити вплив ультразвукової ударної обробки, в інертному середовищі та на повітрі, на мікротвердість, поверхневу мікроструктуру, фазовий та хімічний склад, а також рівень залишкових напружень І-го роду досліджуваних зразків латуні ЛС59-1 та встановити механізми поверхневого зміцнення після УЗУО в різних середовищах.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Мікротвердість поверхневих шарів латуні ЛС59-1 після УЗУО в нейтральному середовищі та на повітрі

Для проведення досліджень використано зразки латуні марки ЛС59-1 – ГЦК-сплав Cu - 39,6 Zn (ваг. %). Хімічний склад досліджуваних зразків визначався методом рентгенофлуоресцентного аналізу, результати досліджень наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати хімічного аналізу латуні ЛС59-1

Вміст, ваг. %	Елемент								
	Cu	Zn	Pb	Mn	Sn	Ni	Fe	Si	Sb
	58,9	39,6	1,04	0,03	0,01	0,03	0,05	0,43	0,01

Результати зміни мікротвердості поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі та в інертному середовищі наведено на рис. 3.1 та рис. 3.2, відповідно.

УЗУО на повітрі дозволяє досягти ефекту зміцнення 207 % ($Hv_{100} = 2,8$ ГПа) вже за 5 с тривалості обробки (рис. 3.1). При подальшому збільшенні тривалості обробки спостерігається подальше стрімке зростання величини мікротвердості до $\tau = 20$ с, де ефект зміцнення досягає 330 % ($Hv_{100} = 4,45$ ГПа). Подальше збільшення тривалості УЗУО до 50 с вже не призводить до такого значного зростання мікротвердості. Максимальний ефект зміцнення для УЗУО на повітрі становить 345 % ($Hv_{100} = 4,64$ ГПа).

При УЗУО в інертному середовищі, на відміну від обробки на повітрі, такого стрімкого зростання величин мікротвердості не спостерігається (рис. 3.2). При тривалості обробки 5 с ефект зміцнення становить 154 % ($Hv_{100} = 2,08$ ГПа). При подальшому збільшенні тривалості обробки спостерігається поступове зростання величини мікротвердості і при $\tau = 50$ с

ефект зміцнення досягає 182 % ($Hv_{100} = 2,47$ ГПа).

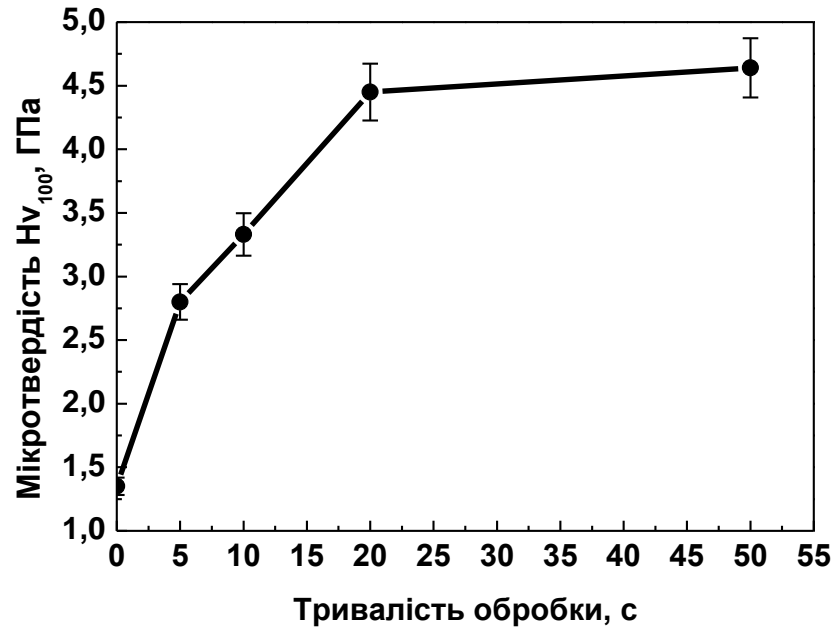


Рисунок 3.1 – Мікротвердість латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі

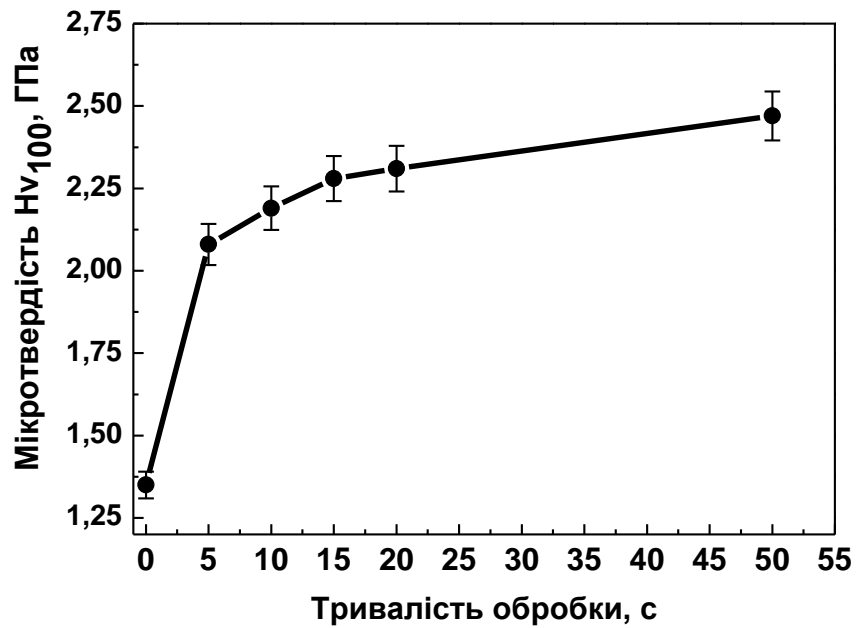


Рисунок 3.2 – Мікротвердість латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі

3.2 Диспергування зеренної структури після УЗУО на повітрі та в інертному середовищі

Морфологія поверхні латуні ЛС59-1 у вихідному стані наведено на (рис. 3.3). Мікроструктура поверхні є типовою для сплавів латуні і

складається з β -твердого розчину на основі міді з ГЦК ґраткою, до складу якого входять Cu, Zn, Pb, а також включення інших фаз. Результати рентгенофлуоресцентного аналізу відповідають стехіометричному співвідношенню фаз Cu_2Zn та CuZn (рис. 3.3, в).

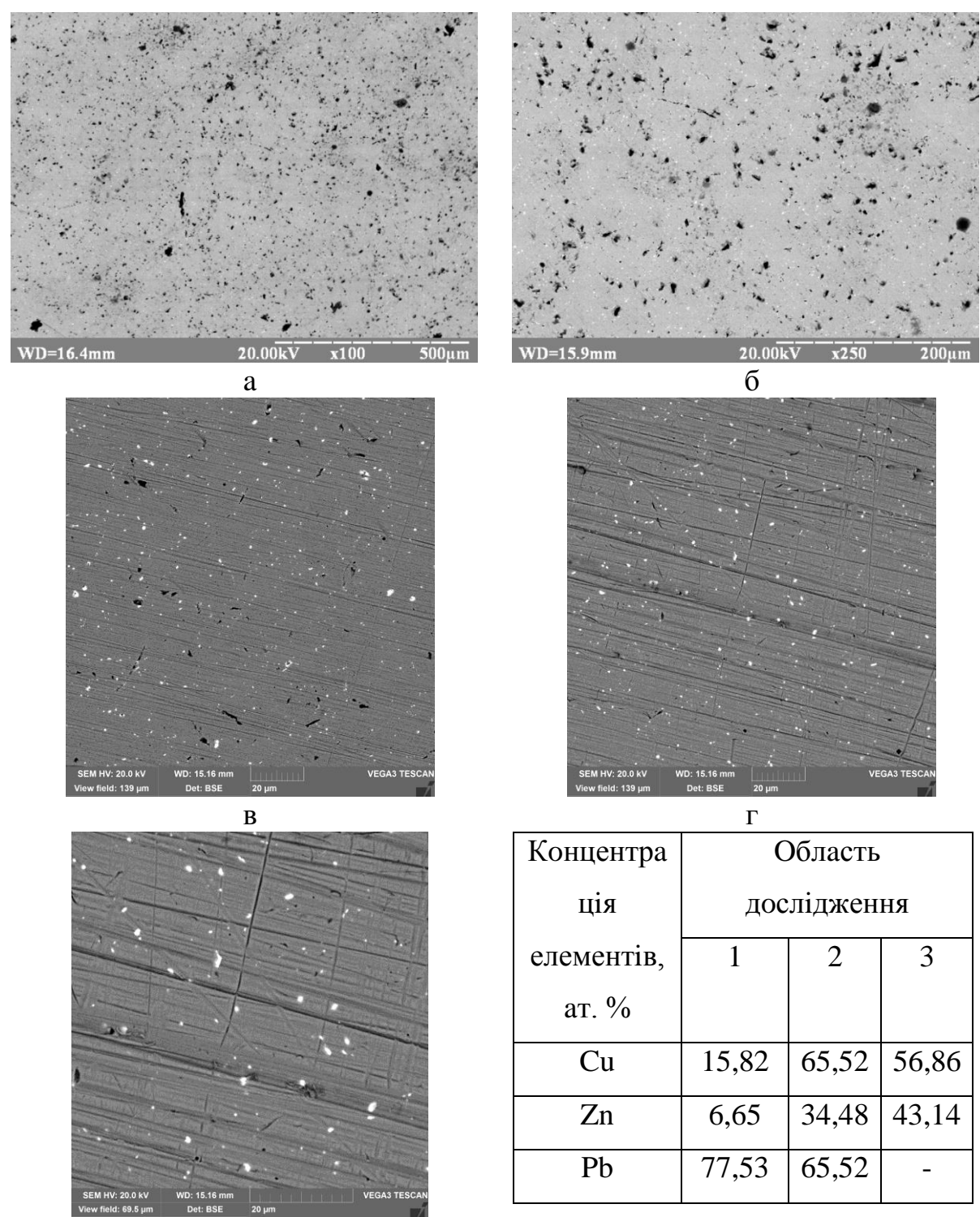


Рисунок 3.3 – Морфологія поверхні латуні ЛС59-1 у вихідному стані

Після 10 с обробки на повітрі спостерігаються дві області хімічний склад яких відповідає фазам Cu_2Zn та CuZn , а також включення Pb (рис. 3.4). Переважаючою є область, яка відповідає фазі Cu_2Zn .

Морфологія поверхні зразків латуні ЛС59-1 після 10 с та 50 с УЗУО на повітрі наведено на рис. 3.4 та рис. 3.5, відповідно.

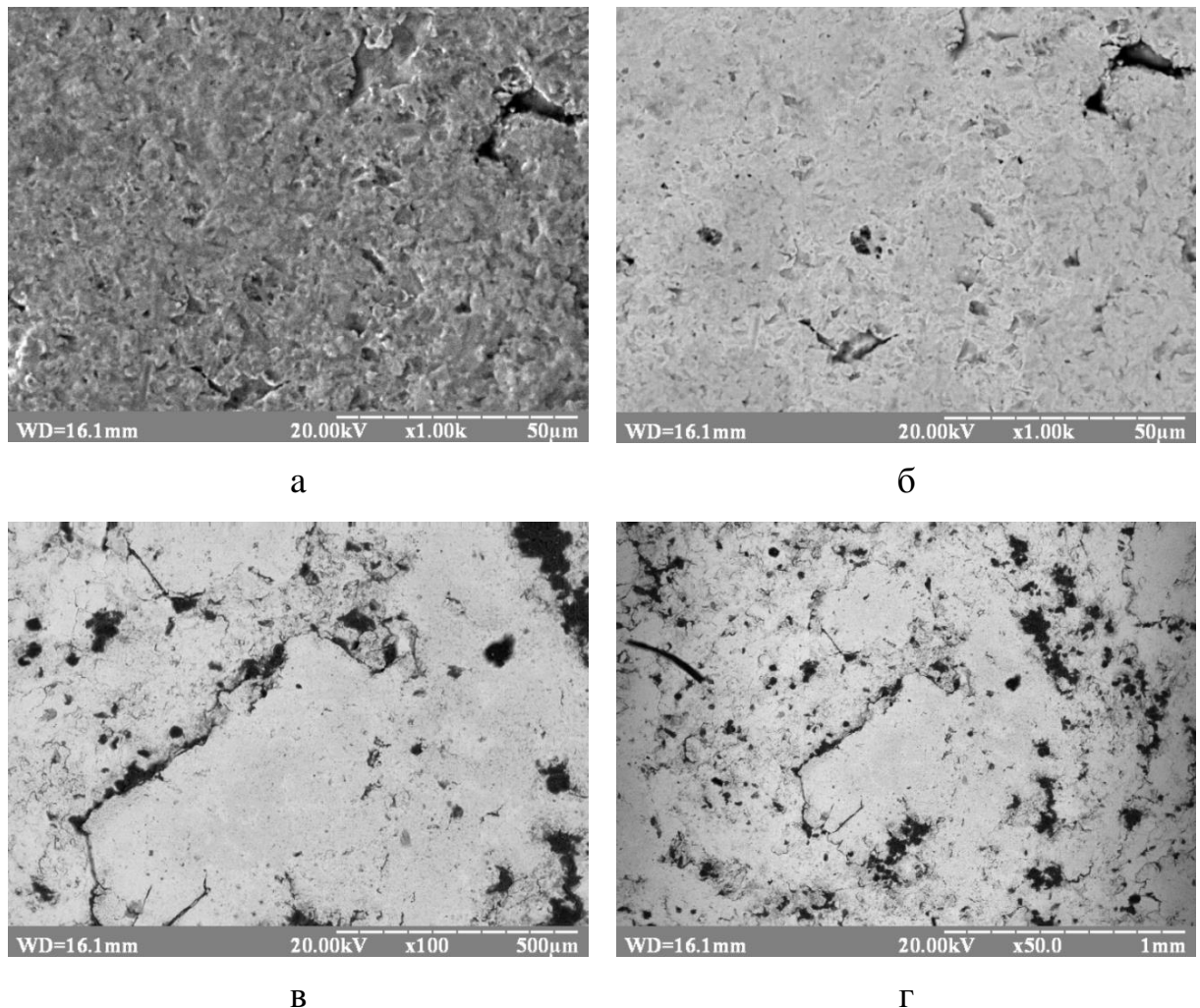


Рисунок 3.4 – Морфологія поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі
($A = 25\text{мкм}$, $\tau = 10\text{ с}$)

Після 50 с обробки, як і після 10 с обробки спостерігаються дві області хімічний склад яких відповідає фазам Cu_2Zn та CuZn , а також включення Pb (рис.3.5). Проте на відміну від обробки протягом $\tau = 10\text{ с}$ відбувається збільшення області, яка відповідає фазі CuZn , також спостерігається більш суттєва деформація поверхні.

Для поперечного перерізу латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі ($\tau = 50$ с), так як і для поверхні характерні дві області з хімічним складом, який відповідає фазам Cu_2Zn та CuZn , а також присутні включення свинцю. За даними скануючої електронної мікроскопії товщина модифікованого шару становить ~ 120 мкм (рис. 3.6, б).

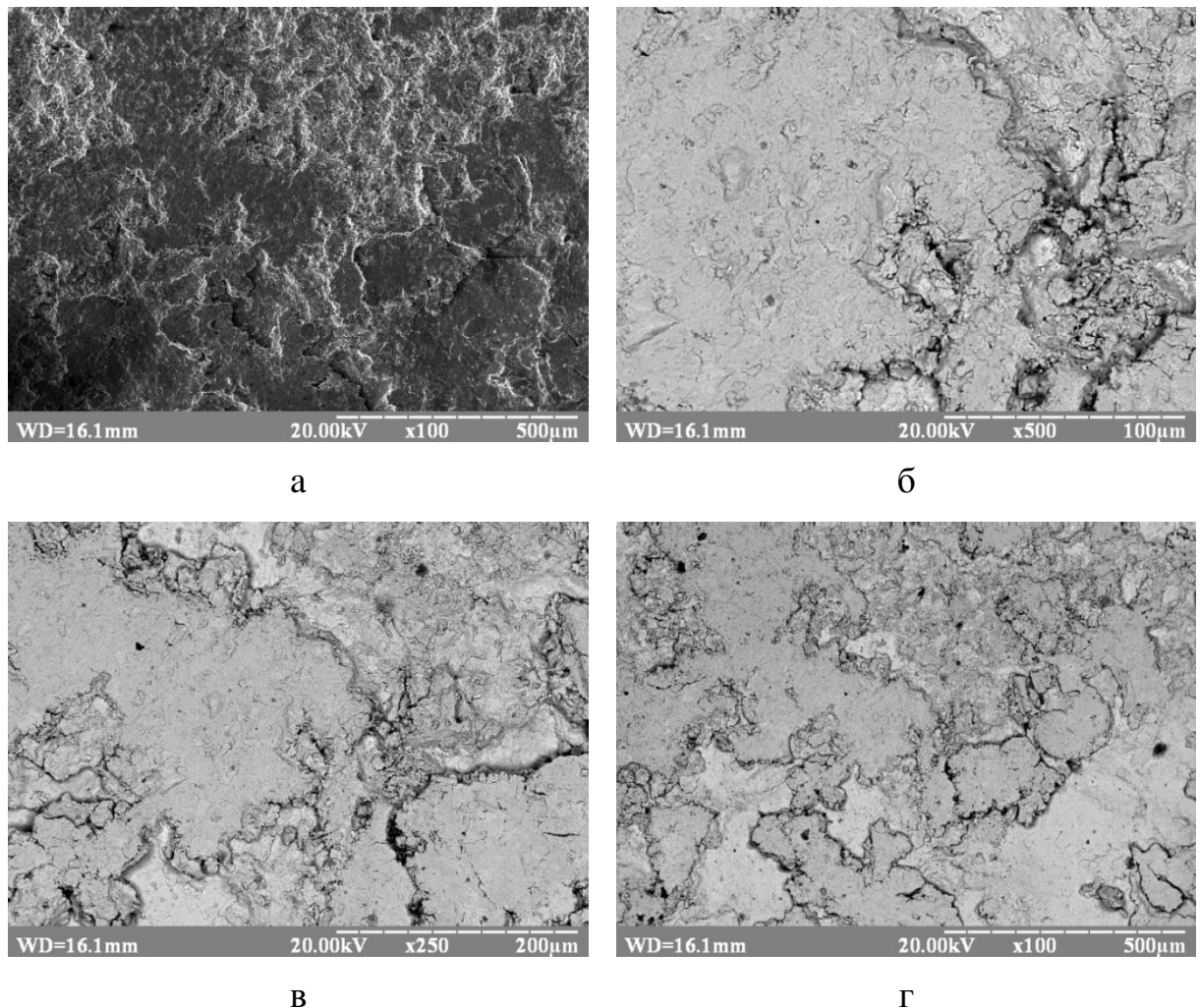
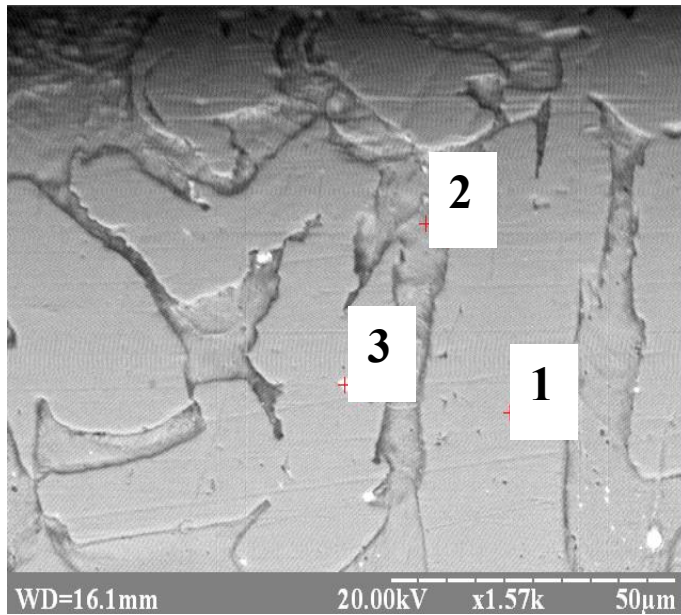


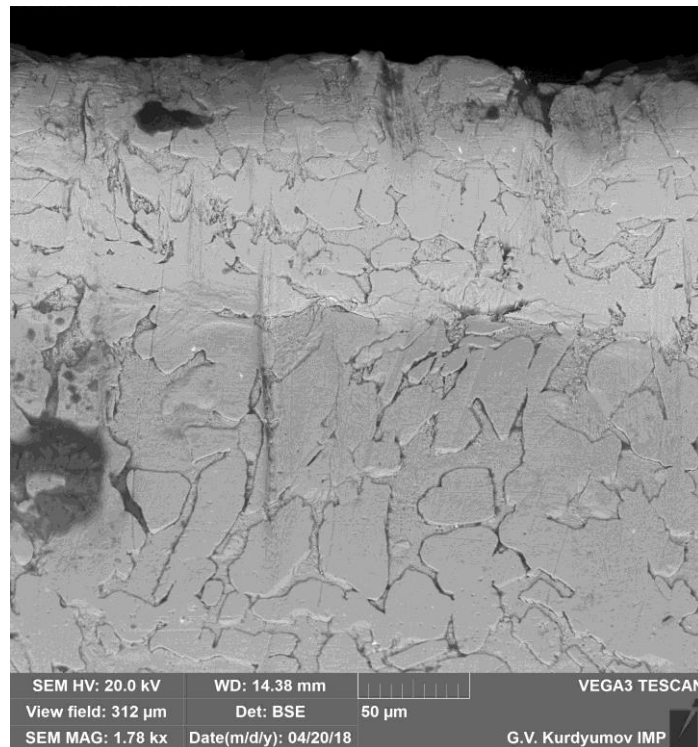
Рисунок 3.5 – Морфологія поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі
($A = 25$ мкм, $\tau = 50$ с)

В зразку латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі тривалістю протягом 50 с, при якому спостерігалось максимальне зростання мікротвердості, досліджено морфологію поперечного перерізу методом скануючої електронної мікроскопії (рис. 3.6).



Елемент	Вміст, ат. %		
	1	2	3
Cu	67,43	55,38	9,28
Zn	32,57	44,62	4,61
Pb	-	-	86,11

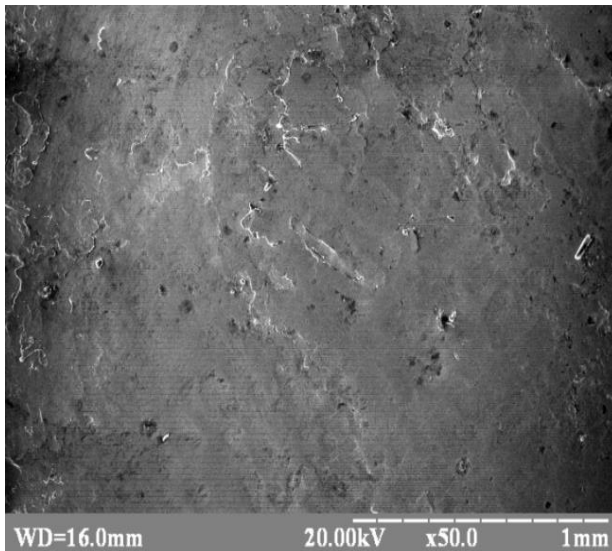
а



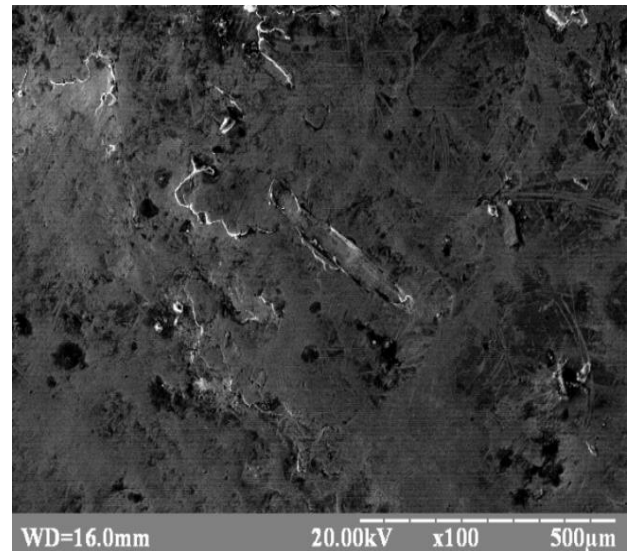
б

Рисунок 3.6 – Морфологія поперечного перерізу та відповідний хімічний склад латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі ($A = 25$ мкм, $\tau = 50$ с)

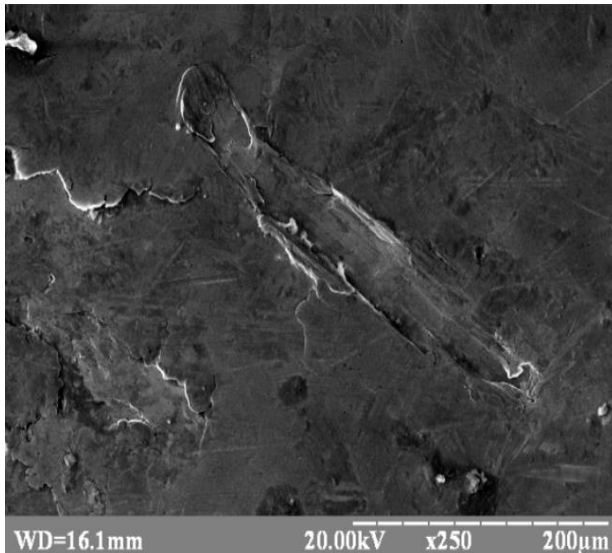
На рис. 3.7 наведена морфологія поверхні зразків латуні ЛС59-1 після 10 с с УЗУО в інертному середовищі.



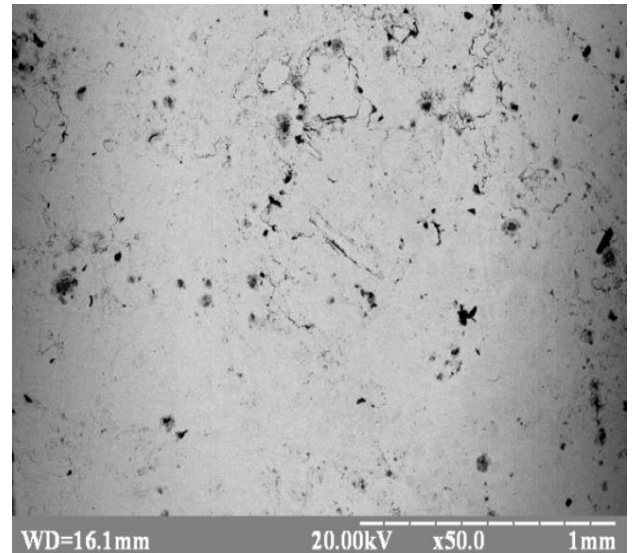
а



б



в



г

Рисунок 3.7 – Морфологія поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі ($A = 25\text{мкм}$, $\tau = 10\text{с}$)

На рис. 3.8 наведена морфологія поверхні зразків латуні ЛС59-1 після 10 с УЗУО в інертному середовищі.

В зразку латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі тривалістю 50 с, при якому спостерігалось максимальне зростання мікротвердості, досліджено морфологію поперечного перерізу методом скануючої електронної мікроскопії.

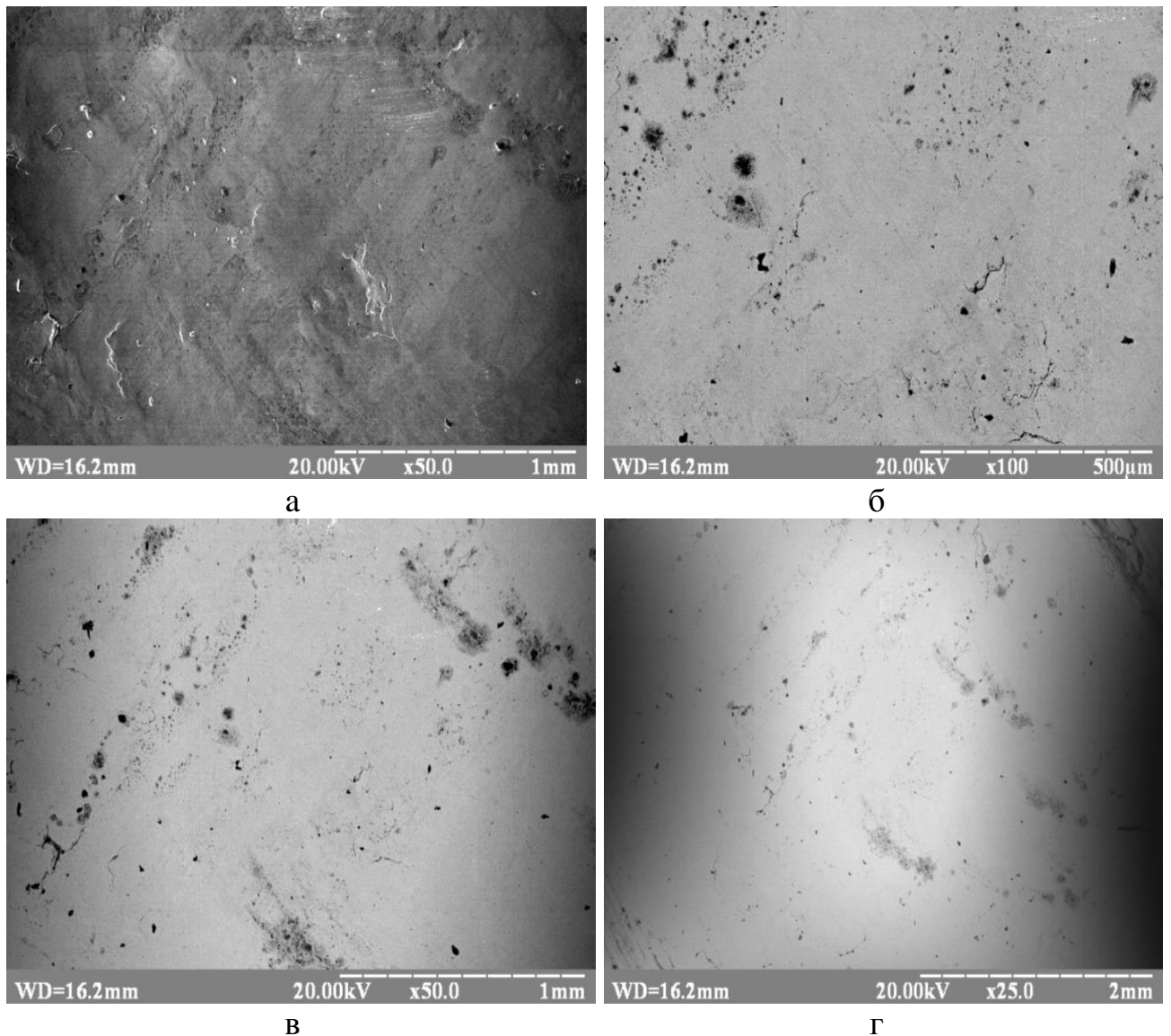
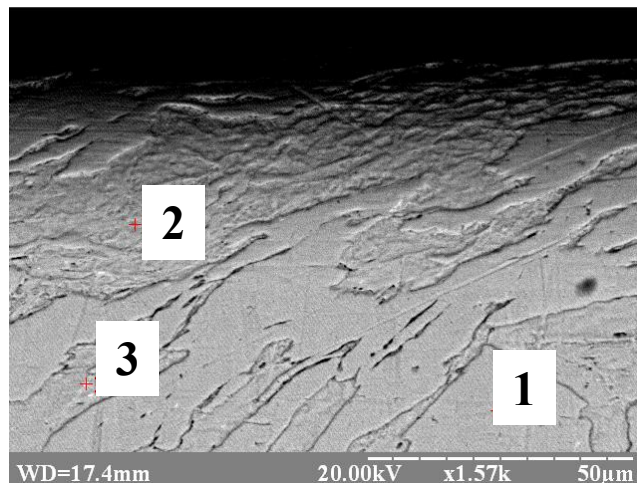


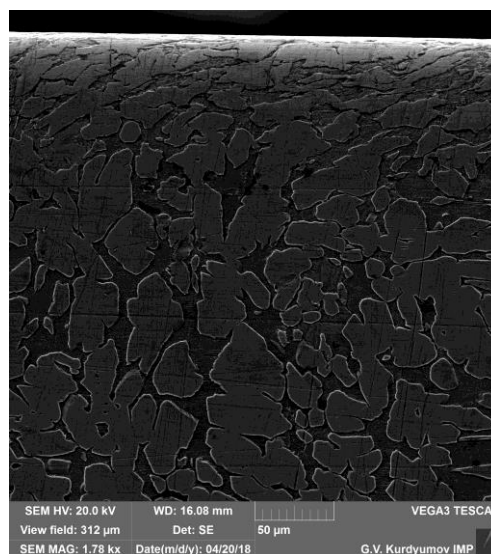
Рисунок 3.8 – Морфологія поверхні латуні LC59-1 після УЗУО в інертному середовищі ($A = 25\text{мкм}$, $\tau = 50\text{ с}$)

Для поперечного перерізу латуні LC59-1 після УЗУО в інертному середовищі ($\tau = 50\text{ с}$), так як і для поверхні характерні дві області з хімічним складом, який відповідає фазам Cu_2Zn та CuZn , а також присутні включення свинцю (рис. 3.9). За даними скануючої електронної мікроскопії товщина модифікованого шару становить $\sim 40\text{ мкм}$ (рис. 3.9, б).



Елемент	Вміст, ат. %		
	1	2	3
Cu	64,57	54,08	16,22
Zn	35,33	45,92	13,87
Pb	-	-	69,91

а



б

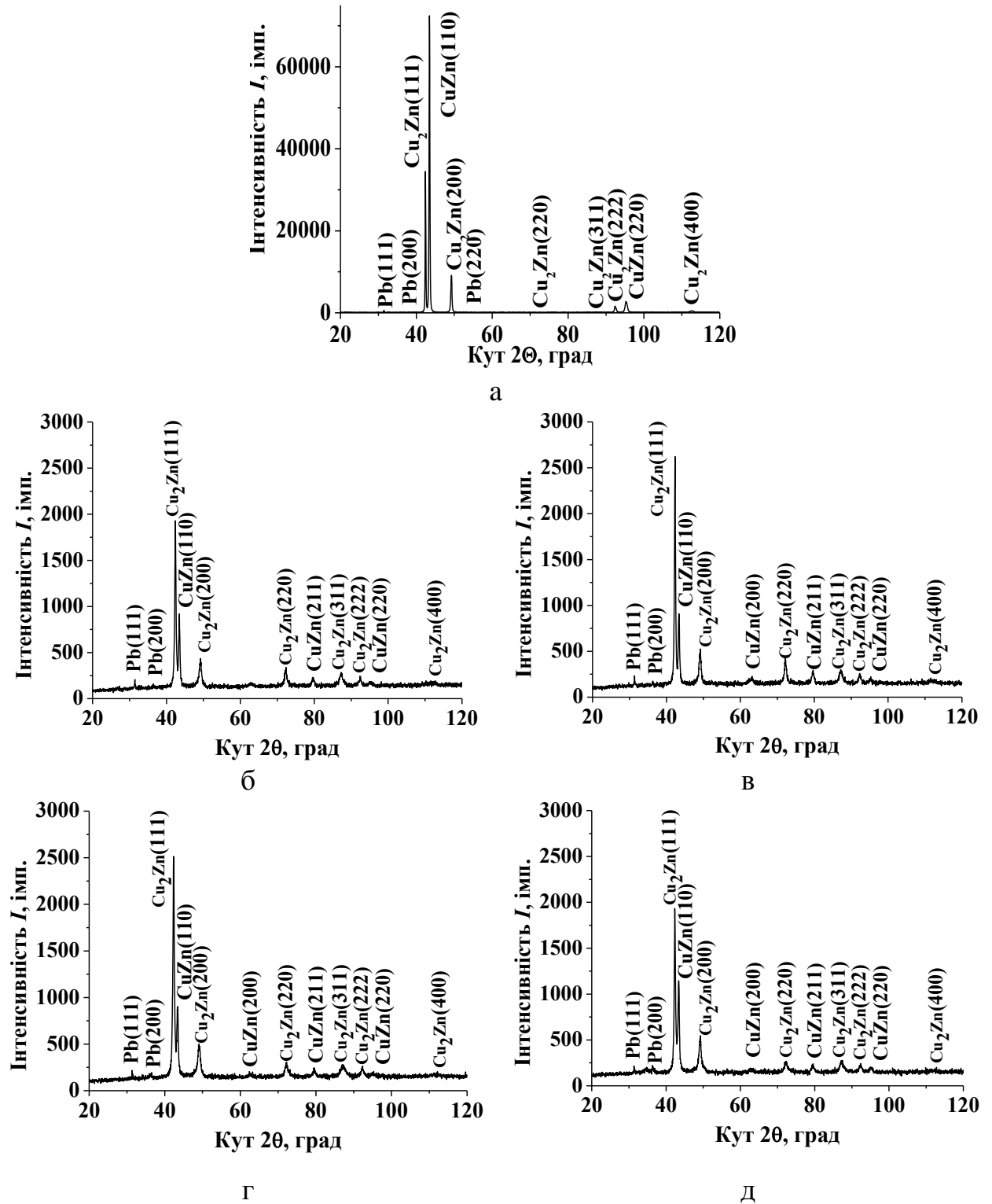
Рисунок 3.9 – Морфологія поперечного перерізу та відповідний хімічний склад латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі ($A = 25\text{мкм}$, $\tau = 50\text{с}$)

3.3 Рентгенографічне визначення фазового складу, розмірів кристалітів та залишкових макронапружень модифікованого шару

Структурно-фазовий стан поверхні зразків латуні ЛС59-1 у вихідному стані та після УЗУО в інертному середовищі та на повітрі впродовж 10 с та 50 с досліджувався методом рентгенівської дифрактометрії (рис. 3.10).

Латунь у вихідному стані є двофазною і складається з твердого розчину цинку в міді з кристалічною ґраткою міді та упорядкованого твердого розчину на базі хімічної сполуки CuZn . У вихідному стані та після УЗУО за

всіх режимів фіксуються рефлекси від Cu_2Zn , фази CuZn та Pb . Обробка на повітрі та в інертному середовищі призводить до перерозподілу інтенсивності цих рефлексів та змін кількісного фазового складу латуні ЛС59-1.



а – вихідний стан; б – УЗУО в аргоні, $\tau = 10$ с; в – УЗУО в аргоні, $\tau = 50$ с;
г – УЗУО на повітрі, $\tau = 10$ с; д – УЗУО на повітрі, $\tau = 50$ с

Рисунок 3.10 – Рентгенограми зразків латуні ЛС59-1

За результатами рентгенівських досліджень зразків латуні ЛС59-1 у вихідному стані та після УЗУО в інертному середовищі і на повітрі, різної тривалості, проведено кількісний фазовий аналіз методом RIR (Reference Intensity Ratio). Метод RIR полягає в порівнянні відношення інтенсивностей найбільш сильних рефлексів фази і корунду в їх суміші з масовими частками.

Результати зміни кількісного фазового складу латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі наведено в табл. 3.2. Порівняно з вихідним станом в процесі УЗУО вже після 10 с обробки відбувається збільшення кількості фази Cu_2Zn в 2.3 рази та зменшення кількості фази CuZn .

Таблиця 3.2 – Зміна кількісного фазового складу латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі (ваг. %)

Обробка	Вміст, ваг. %		
	Cu_2Zn	CuZn	Pb
Вихідний стан	35,1	64,4	0,56
$\tau=10$ с	81,6	16,5	1,9
$\tau=50$ с	68,3	29,6	2,1

Результати зміни кількісного фазового складу латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі наведено в табл. 3.3. Після УЗУО в інертному середовищі, як і після УЗУО на повітрі, відбувається збільшення кількості фази Cu_2Zn та зменшення кількості фази CuZn вже після 10 с обробки. Подальше збільшення тривалості обробки не призводить до зміни фазового складу.

Зміна кількості Pb після УЗУО в різних середовищах та різної тривалості, порівняно з вихідним станом, пов'язана з можливою локальною неоднорідністю хімічного складу латуні ЛС59-1, а також похибкою методу RIR.

Таблиця 3.3 – Зміна кількісного фазового складу латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі (ваг. %)

Обробка	Вміст, ваг. %		
	Cu ₂ Zn	CuZn	Pb
Вихідний стан	35,1	64,4	0,56
τ=10 с	76,6	21,5	1,9
τ=50 с	78,8	19,5	1,7

Результати розрахунків розміру областей когерентного розсіяння (ОКР) проведено за методом Халдера-Вагнера у вихідному стані та після УЗУО.

У вихідному стані розмір ОКР фази Cu₂Zn становить 190 нм, для фази CuZn – 172 нм, Pb – 49 нм. Після 15 с обробки на повітрі розмір ОКР фази Cu₂Zn зменшується до 8 нм (табл. 3.4). Розмір ОКР для фази CuZn зменшується більш ніж в 10 разів з 172 нм до ~ 16 нм, а для Pb – у 4 рази.

Подальше збільшення тривалості УЗУО на повітрі до 50 с не призводить до суттєвої зміни розміру ОКР досліджуваних фаз.

Таблиця 3.4 – Розмір областей когерентного розсіяння після УЗУО латуні ЛС59-1 на повітрі

Обробка	Розмір ОКР, нм		
	Cu ₂ Zn	CuZn	Pb
Вихідний стан	190,0	172,0	49,0
τ=10 с	8,0	16,0	12,5
τ=50 с	9,0	13,5	14,5

Після УЗУО в інертному середовищі вже протягом 15 с обробки, порівняно з вихідним станом, розмір ОКР фази Cu₂Zn зменшується з 190 нм до 10 нм (табл. 3.5). Розмір ОКР фази CuZn при цьому зменшується у

~ 8 разів, Pb у ~ 5 разів. Як і при обробці на повітрі, збільшення тривалості УЗУО до 50 с не призводить до зміни розміру ОКР досліджуваних фаз.

Порівнюючи результати вимірювання мікротвердості та зміни розміру ОКР можна зробити висновок, що подрібнення структури вносить суттєвий вклад на початкових етапах обробки. Збільшення тривалості обробки не призводить до збільшення розміру кристалітів, що свідчить про відсутність протікання релаксаційних процесів.

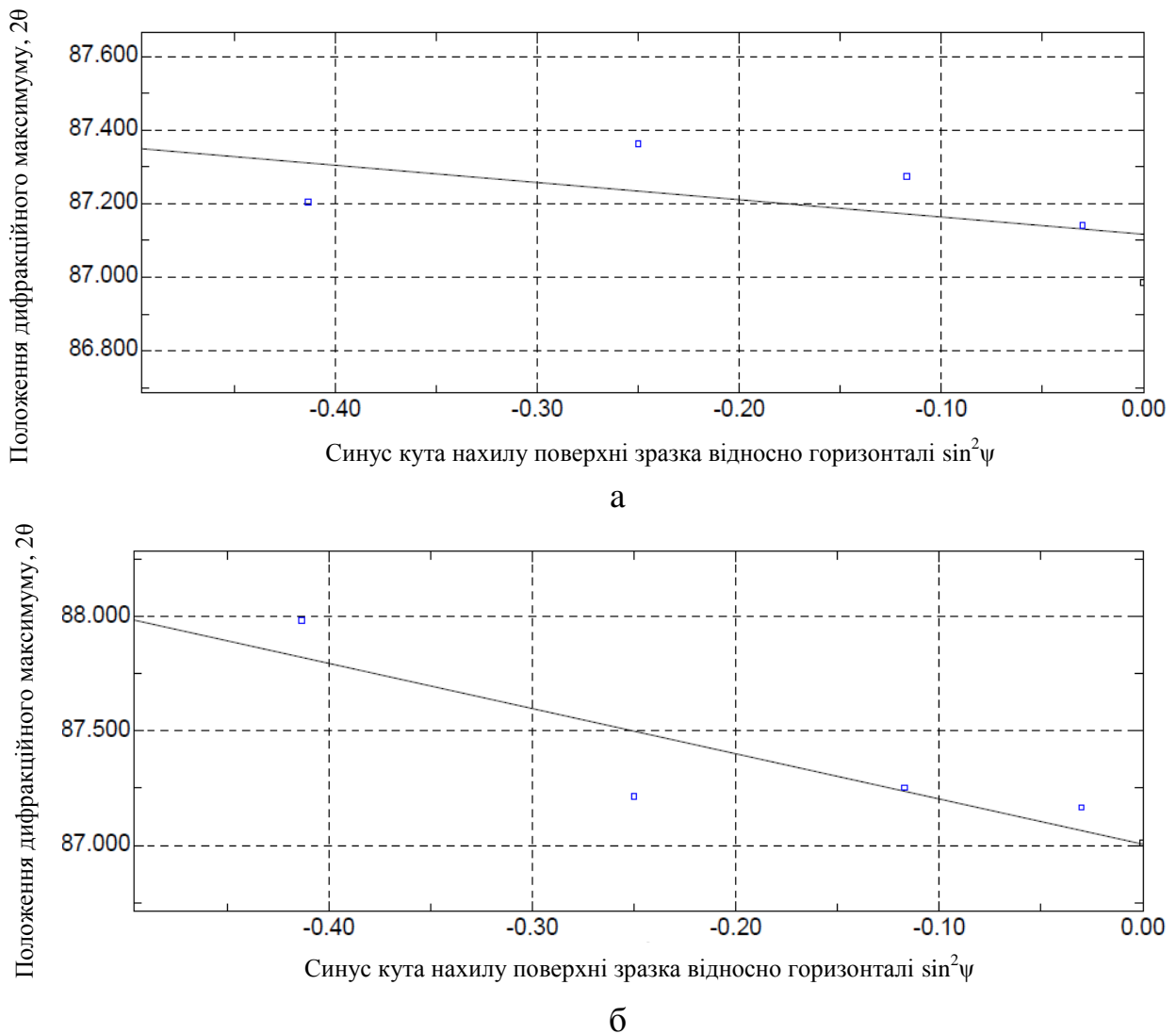
Таблиця 3.5 – Розмір областей когерентного розсіяння після УЗУО латуні ЛС59-1 в інертному середовищі

Обробка	Розмір ОКР, нм		
	Cu ₂ Zn	CuZn	Pb
Вихідний стан	190,0	172,0	49,0
$\tau=10$ с	10,0	22,0	10,0
$\tau=50$ с	11,0	19,0	16,0

Для зразків латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі та на повітрі, різної тривалості, визначено зміну величини залишкових напружень 1-го роду в зміцненому приповерхневому шарі. Аналіз проводивсь за методом $\sin^2\psi$ для лінії (311) фази Cu₂Zn. На рис. 3.11 наведено залежність зміщення дифракційних максимумів в залежності від значення $\sin^2\psi$. У вихідному стані присутні залишкові стискаючі напруження, які формуються в процесі екструзії під час отримання прутків. Величина напружень у вихідному стані становить ~ -55 МПа.

Після УЗУО в інертному середовищі визначено рівень залишкових напружень 1-го роду в зразках після 10 с та 50 с обробки. Величини залишкових напружень для двох зразків суттєво не відрізняються і знаходяться в межах похибки вимірювань. Отримані значення залишкових

напружень для обробки в інертному середовищі узгоджуються із значеннями мікротвердості для даних часів обробки.



а – УЗУО в інертному середовищі ($\tau=50$ с); б – УЗУО на повітрі ($\tau=50$ с)

Рисунок 3.11 – Залежність $2\theta\text{-}\sin^2\psi$ при визначенні макронапружень після УЗУО латуні ЛС59-1

Після УЗУО на повітрі, як і для обробки в інертному середовищі, визначено рівень залишкових напружень 1-го роду в зразках після 10 с та 50 с обробки. На відміну від обробки в інертному середовищі величина залишкових напружень стрімко зростає. Так для $\tau = 10$ с величина напружень становить -320,0 МПа, а для $\tau = 50$ с величина напружень становить

-1470,0 МПа. Отримані значення залишкових напружень для обробки на повітрі узгоджуються із значеннями мікротвердості для даних часів обробки.

Отримані результати визначення залишкових напружень (табл. 3.6) в зразках латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі та на повітрі, різної тривалості, свідчать про те що одним з домінуючих факторів значно більшого зростання величини мікротвердості після обробки на повітрі, ніж в інертному середовищі, є залишкові макронапруження напруження, які формуються в поверхневому шарі.

Таблиця 3.6 – Зміна рівня величини залишкових напружень 1-го роду латуні ЛС59-1 після УЗУО в інертному середовищі та на повітрі

Обробка	Напруження, МПа
Вихідний стан	-55,0
Аргон, $\tau=10$ с	-345,0
Аргон, $\tau=50$ с	-350,0
Повітря, $\tau=10$ с	-320,0
Повітря, $\tau=50$ с	-1470,0

3.4 Висновки до розділу 3

1. Підвищення мікротвердості поверхні латуні ЛС59-1 до $Hv_{100} = 4,64$ ГПа (ефект зміцнення $\sim 3,5$ рази) ультразвуковою ударною обробкою на повітрі відбувається за рахунок синергетичного впливу процесів диспергування зеренної структури, зміни фазового складу та утворенню залишкових стискаючих напружень $\sigma = -1,4$ ГПа.

2. Зміцнення поверхні латуні ЛС59-1 в процесі ультразвукової ударної обробки в інертному середовищі відбувається за рахунок деформаційного наклепу, подрібнення зеренної структури та зміни фазового складу. Максимальний ефект зміцнення становить до 2 разів.

3. Значно менше зростання мікротвердості при обробці в інертному середовищі ($Hv_{100} = 2,47$ ГПа), порівняно з обробкою на повітрі ($Hv_{100} = 4,64$ ГПа), за однакової тривалості та параметрів ультразвукової ударної обробки досягається за рахунок формування менш напруженого стану в поверхневому шарі в процесі обробки. При обробці на повітрі величина залишкових стискаючих напружень $\sim 4,2$ рази більша порівняно з обробкою в інертному середовищі.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідея даного проекту спрямована на розробку технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1, та утворення нанокристалічної структури за допомогою ультразвукової ударної обробки, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик, при відносно невисокій собівартості обладнання для проведення УЗУО.

Потенційним товаром даного стартап проекту є технологія зміцнення поверхні латуні ЛС59-1 (склад (ваг. %): Cu – 58,9 %, Zn – 39,6 %, Pb – 1,04 %).

Запропонована технологія УЗУО постійно розвивається та вдосконалюється та має значні переваги перед існуючими аналогами за такими важливими параметрами як: вартість виготовлення обладнання, вага обладнання, ефективність обробки і т.д.

Відомо, що зварне з'єднання має незначну міцність насамперед унаслідок погіршення структури при розплавленні металу, появи концентраторів напружень і дефектів зварювання, а також через виникнення значних напружень розтягу в зоні шва. Якщо вони збігаються із зовнішніми циклічними навантаженнями, настає передчасне втомне руйнування в зоні з'єднання. А це, у свою чергу, іноді призводить до катастрофічних наслідків. Величину напружень розтягу можна знизити шляхом нагріванням деталей, але при роботі з великими конструкціями цей процес є непростим і потребує великих витрат електроенергії. Численні дослідження засвідчили, що – порівняно з іншими методами обробки – УЗУО призводить до найбільш суттєвого підвищення втомної міцності зразків і елементів конструкцій. Одним з найбільш ефективних методів модифікації поверхні [4, 5, 6] та формування високоміцних композиційних покриттів [1, 7] є технологія УЗУО.

Латунь ЛС59-1 має найбільший попит серед латуней які обробляються тиском. ЛС59-1 має низьку ударну в'язкість та низьку міцність на вигин при наявному надрізі. Сплав є гарним конструкційним матеріалом навіть при низьких температурних показниках. Пластичність зберігається при зниженні температур аж до гелієвих. При середніх температурах (200-600) °С в сплаві спостерігається явище крихкості в зв'язку з багатофазною структурою матеріалу. Ударна в'язкість зменшується з підвищенням температури. Матеріал може покритися тріщинами, тому сплав не підходить для кування.

Латунь ЛС59-1 має високу міцність, корозійну стійкість до різних середовищ. Також даний сплав має хороші антифрикційні властивості. Його можна застосовувати при виробництві дрібних деталей, які розраховані для функціонування при високому терті (наприклад, підшипники ковзання). Електропровідність і теплопровідність ЛС59-1 менше ніж у міді.

Висока твердість сплаву і його стійкість до стирання дозволяє використовувати листові заготовки для виробництва напрямних елементів різних верстатів.

Завдяки високій твердості, невисокій вартості, відмінній оброблюваності на верстатах, корозійної стійкості і антифрикційним властивостям, латунь ЛС59-1 успішно використовується у всіх видах виробництва. З сплаву масово випускають різні заготовки. З нього виробляють: втулки, шестерні, поковки, колеса, труби, кріплення. Також зі сплаву виготовляються деталі самих верстатів. Вони не деформуються і не стираються під час експлуатації.

Разом з тим, на даний момент дуже мало фахових публікацій за темою, що вказує на наукову новизну та підкреслює необхідність проведення досліджень з метою підвищення механічних характеристик латуні ЛС59-1.

Опис ідеї стартап-проекту наведено у таблиці 4.1. У таблиці 4.2 визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Зміцнення поверхневих шарів латуні ЛС59-1 для значного підвищення експлуатаційних характеристик	1. Верстатобудування	Зміцнення поверхні деталей зі латуні ЛС59-1, можливість обробки на станках готових деталей різної форми, висока корозійна стійкість, чудові антифрикційні властивості, не велика собівартість
	2. Кораблебудування	
	3. Автомобілебудування	

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту – розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			
		Наш проект	Конкурент 1 Метод механічного легування	Конкурент 2 Метод зварювання тертям із перемішуванням	Конкурент 3 Метод лазерного легування
1	2	3	4	5	6
1	Собівартість обробки сплаву	дешевший	дорожчий	дорожчий	дорожчий
		S	W	W	W
2	Вартість обслуговування установки	Не висока	Не висока	Не висока	Не висока
		N	N	N	W
3	Витратні матеріали під час обробки	Необхідні	Необхідні	Необхідні	Необхідні
		S	S	S	S

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
5	Вартість експлуатації (споживання енергії)	Стандартна	Стандартна	Стандартна	Стандартна
		N	N	N	N
6	Вартість установки	Мінімальна (стандартне устаткування)	Висока вартість	Висока вартість	Висока вартість
		S	W	W	W
8	Екологічність (обсяг відходів)	Немає	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали
		S	W	W	W
9	Тривалість обробки	Мала	Середня	Середня	Середня
		S	N	N	N
10	Обробка готових виробів	Можливо	Можливо	Можливо	Можливо
		N	N	N	N
11	Обробка деталей різної форми	Можливо	Ні	Ні	Можливо
		N	W	W	N

* W (слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона)

В таблиці 4.3 наведені існуючі методики та схеми ультразвукової ударної обробки в різних середовищах та з використанням різних бойків. Дослідження впливу ультразвуку на структуру та властивості металів і сплавів [3, 7-11] свідчать про те, що в процесі УЗУО відбуваються значні коливання кристалічної ґратки, що призводить до стрімкого підвищення напруження напружень та збільшення щільності дислокацій.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту – розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	2	3
Технологія 1 (УЗУО бойком з армко-заліза)	Технологія існує	Доступна

Продовження таблиці 4.3

1	2	3
Технологія 2 (УЗУО бойком з сталі ШХ15)	Технологія існує	Доступна
Технологія 3 (УЗУО в різних середовищах)	Технологія існує	Доступна

За результатами аналізу таблиці 4.3 можна зробити висновок, що даний стартап проект може бути реалізований, але для цього необхідно провести додаткові дослідження, оскільки дана технологія УЗУО випробувана тільки для латуні ЛС59-1, результати для якої і представлені в даній магістерській дисертації, але потрібно провести ще ряд випробувань для інших марок латуней, а також сплавів системи Cu-Zn..

З латуні ЛС59-1 виготовляються практично всі види прокату: плита, дріт, круг, лист, прутки.

З сплаву ЛС59-1 методом безперервного лиття роблять дешеві трубні заготовки, вартість яких значно нижче пресованих. Також зі сплаву масово випускають пресовані, напівтверді і тверді прутки. Загартовані листи з ЛС59-1 є одним з найбільш популярних видів прокату з латуні. Вони застосовуються в верстатобудуванні. Також зі сплаву випускаються листи в твердому, напівтверді і м'якому стані. З прутків, виготовлених з латуні ЛС59-1, при мінімальних витратах виробляють різні дрібні і великі деталі, що володіють хорошими антифрикційними властивостями. Найбільшою популярністю користуються прутки шестигранною і квадратної форми.

За результатами аналізу таблиці 4.4 можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Таблиця 4.4 – Кількість верстатів виготовлених верстатобудівельною галуззю України, в період з 2003 по 2018 роки.

	2003 рік	2008 рік	2015 рік	2016 рік	2017 рік
Металорізальні верстати, тис. шт.	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8
З них із числовим програмним керуванням, тис. шт.	0,04	0,01	0,03	0,03	0,6
Ковальсько-пресові машини, тис. шт.	0,6	0,3	0,2	0,5	0,4
З них із числовим програмним керуванням, тис. шт.	0,00	0,01	0,01	0,03	0,06
Промислові роботи , тис. шт.	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
Роторні та роторно-конвеєрні лінії комплектів, тис. шт.	1	0,6	0,9	0,9	1,2

У таблицях 4.5 та 4.6 представлено характеристику потенційних клієнтів та фактори загроз стартап-проекту.

Таблиця 4.5 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту – розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	1	2
1	Кількість головних гравців, од	Є три основні технології-аналоги: 1) Метод механічного легування 2) Метод зварювання тертям із перемішуванням 3) Метод лазерного легування

Продовження таблиці 4.5

	1	2
2	Загальний обсяг продаж, ум.од, 2017 рік	3 тис. шт.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	> 1

Таблиця 4.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту – розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокomпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зміцнення деталей, що мають різну форму	Юридичні особи (компанії), які виготовляють різноманітні верстати: - Київський верстатобудівний концерн; - Краматорський завод верстатобудування; - Мукачівський верстатобудівний завод; - Одеський завод радіально-свердлильних верстатів;	<ul style="list-style-type: none"> • Стандарти, • Технічні регламенти, • Специфікації, • Обсяги закупок, • Умови експлуатації 	<ul style="list-style-type: none"> • Собівартість • Час експлуатації • Вимоги до складу • Рівномірний розподіл обробки по поверхні
2	Збільшення корозійної стійкості сплаву			

В таблиці 4.7 наведено фактори загроз стартап-проекту.

Таблиця 4.7 – Фактори загроз стартап-проекту – розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність політичної та економічної ситуації	Зменшення фінансування та попиту	Застосування короткострокових стратегій. Приймання участі у програмах, в тому числі міжнародних, задля залучення додаткових інвестицій.
		Зменшення паливних, енергетичних та матеріально-технічних ресурсів	Перехід на інші види енергії, залучення додаткових інвестицій.

В таблицях 4.8 та 4.9 описано фактори можливостей стартап-проекту та ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8 – Фактори можливостей стартап-проекту – розробки технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зниження собівартості товару	Зменшення витратних матеріалів	Підвищення обсягів промислового виробництва
2	Збільшення використання латуні ЛС59-1	Підвищення попиту на технологію УЗУО	Підвищення обсягів продажу

Таблиця 4.9 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку стартап-проекту – розробка технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1.	Міжнародна	Зменшення витратних матеріалів	Збільшення обсягу виробництва
2.	Цінова	Високі ціни конкурентів	Зменшення власної ціни за рахунок дешевого процесу обробки і збільшення обсягу продажу.
3.	Олігополія	Конкуренти прагнуть уникнути цінової боротьби, або не можна отримати переваги від об'ємів продажів	Виділення нових ринкових сегментів, вдосконалення технологічних процесів, незначні новації

У таблиці 4.10 представлено SWOT-аналіз стартап-проект

Таблиця 4.10 – SWOT- аналіз стартап-проекту – розробка технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик

Сильні сторони: Внутрішніми перевагами стартап-проекту, а саме розробка технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної	Слабкі сторони: Внутрішніми недоліками стартап-проекту є необхідність проведення додаткових досліджень, оскільки в даній магістерській дисертації оброблено лише незначну частину
--	--

Продовження таблиці 4.10

<p>Сильні сторони: обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик, є те що процес УЗУО можна проводити на готових виробах і деталях різної форми, а також в різних локальних областях виробу, досягаючи значного підвищення механічних властивостей і корозійної стійкості, використовуючи при цьому не дорогі витратні матеріали, тому промислове застосування даної технології є економічно більш обґрунтованим.</p>	<p>Слабкі сторони: деталей для того щоб зробити достовірний точний прогноз про ефективність запропонованої технології УЗУО. Мікротвердість поверхневих шарів сплаву може коливатися в певному діапазоні, при цьому на поверхні є ділянки як зміцнені, так і ті, що можуть мати менше значення мікротвердості. Відтворюваність результатів потребує додаткової перевірки.</p>
<p>Можливості: Стартап-ідея спрямована на розробку технології зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик, що буде мати більше можливостей до застосування у виробництві, в тому числі за умов знакозмінних деформацій, високого тиску та температури.</p>	<p>Загрози: Стартовий капітал для впровадження у виробництво, залучення інвесторів, фактори, які можуть призвести до збоїв в процесі впровадження УЗУО у виробництво.</p>

Подальша розробка та вдосконалення даної технології постійно триває, тому не можливо надати остаточну інформацію про ринкову спроможність даної технології та створити маркетингову модель товару. Дисертаційна робота була спрямована на дослідження фундаментальних явищ, а саме: впливу середовища обробки на фазовий та хімічний склад, структуру, мікротвердість та напружений стан в поверхневих шарах латуні ЛС59-1. Хоча технологія УЗУО активно використовується в промисловості, проте в даній роботі розглядаються варіанти подальшого розвитку даного методу з наступним впровадженням у виробництво.

4.2 Висновки до розділу 4

1. Аналіз ринкової спроможності стартап-проекту «Технологія зміцнення поверхневих шарів багатокомпонентної латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки латуні ЛС59-1, в різних середовищах, для значного підвищення експлуатаційних характеристик» показав, що у зв'язку із збільшенням виробів верстатобудівельної промисловості, в яких використовується латунь ЛС59-1, розробка нових атермічних методів модифікації металевих поверхонь є актуальним і перспективним напрямом.

2. Встановлено, що перспективи впровадження з огляду на стан верстатобудівельної галузі і потенційні групи клієнтів не достатньо високі, але позитивним є те, що конкурентні технології, які використовуються на сьогодні, не в змозі забезпечити всіх тих переваг, які дозволяє досягти запропонована у стартап-проекті методика УЗУО.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ

Метою цього розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі модифікування поверхні та підвищення мікротвердості латуні ЛС59-1 ультразвуковою ударною обробкою, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів.

В даному розділі розглянуто засоби охорони праці під час виконання досліджень, що проводилася на приладі УЗГ–300.

Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні чинники:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- шум;
- вібрації;
- освітлення;
- електричний струм;
- випромінювання від та комп'ютера.

5.2 Аналіз роботи в приміщенні

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі фізики металів інженерно-фізичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського в корпусі № 9, на 5 поверсі в кімнаті № 508. Схема кімнати наведена на рис. 5.1.

В кімнаті № 508 знаходиться наступне обладнання:

1 – мікротвердомір ПМТ-3; 2 – УЗГ-300; 3 – тумбочка; 4, 10, 11 – книжкова шафа; 7, 8, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24 – стіл письмовий; 5, 12, 13, 14, 22, 23 – стілець; 6, 17, 18 – комп'ютер.

Проведено вимірювання розмірів приміщення лабораторії та вікон, які становлять:

- 1) розміри лабораторії – ширина (6 м), довжина (6 м), висота (2,7 м)

2) розмір вікон – ширина (2,5 м), висота (2 м).

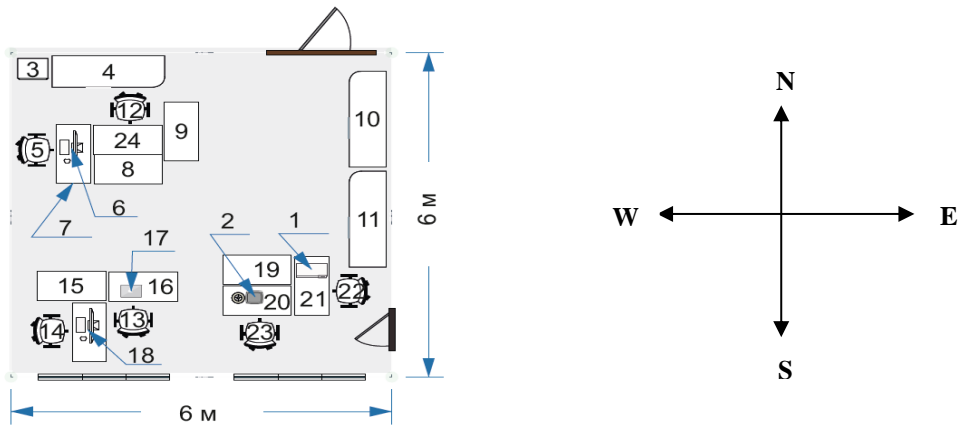


Рисунок 5.1 – Схема лабораторії в якій виконувалася науково-дослідницька робота

Проведено розрахунки площі та об'єму:

1) площа лабораторії складає: $S=a \cdot b=6 \times 6= 36 \text{ м}^2$

2) об'єм лабораторії складає: $V=a \cdot b \cdot c=6 \times 6 \times 2,7=97,2 \text{ м}^3$.

Розрахуємо площу та об'єм на одну особу для кімнати 508, за умовою, що кількість працюючих становить три особи:

$$S_p=36/3=12 \text{ м}^2;$$

$$V_p=97,2/3=32,4 \text{ м}^3$$

Таким чином, на одного працюючого припадає 12 м^2 площі та $32,4 \text{ м}^3$ об'єму, що задовольняє вимогам. Отже, площа та об'єм лабораторії, згідно з ДСанПІН 3.32.007 - 98, де на одну людину повинно приходиться не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, відповідають нормам [33].

Важливе значення для нормальної працездатності людини має чисте повітря потрібного хімічного складу і оптимальної температури, вологості та швидкості руху, тому виконання науково-дослідної роботи супроводжувалося дослідженням мікроклімату в приміщенні лабораторії. При дослідженні мікроклімату знаходять такі складові: температура, рухливість повітря робочої зони та зіставлення результатів з встановленими нормами [31]. Також розрізняють категорії робіт за важкістю: Легка Іа, Легка Іб, Середньої важкості Іа, Середньої важкості Іб, Важка ІІІ.

Згідно з [34] категорія важкості робіт – І б. Вона містить легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні кімнати 508 наведені у таблиці 5.1

В приміщенні науково-дослідницької лабораторії використовується водяне опалення та природна вентиляція.

Таблиця 5.1 – Величина параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії 508

Період року	Температура повітря, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Виміряна	Допустима	Виміряна	Допустима	Виміряна	Допустима
Холодний	20	17...25	70	<75	0,1	<0,2
Теплий	23	19...30	55	<60, при 27 °C	0,2	0,1...0,3

Можна зробити висновок, що мікроклімат в кімнаті 508 відповідає вимогам санітарних норм.

5.2.1 Склад повітря робочої зони

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом шкідливих речовин та пилом. Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій, які використовуються при проектуванні виробничих будівель, технологічних процесів, обладнання, вентиляції. За ГОСТ 12.1.005-88 [35] встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони виробничих приміщень. Надходження до повітря робочої зони тієї чи іншої шкідливої речовини залежить від технологічного процесу, сировини, що використовується.

В даній лабораторії з матеріалами, які використовуються в твердому

стані не проводяться процеси полірування, шліфування та травлення, а також щодня проводиться вологе прибирання приміщення. З вищенаведеного можна сказати, що шкідливі речовини та запиленість приміщення не перевищує допустимих значень.

5.2.2 Освітлення

Правильно підібране освітлення надає нормальні умови для організації робочого процесу. Освітлення буває трьох видів: природне, штучне і суміщене. Природне в свою чергу поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. Штучне – загальне та місцеве [36].

Погане освітлення виробничої зони може призвести до погіршення якості виконуваних робіт, наприклад, можуть залишитися непоміченими розриви, що з'явилися, потертості, витік палив і олій, механічні домішки в паливі й інше, що, у свою чергу, призводить до зниження безпеки праці. Погане освітлення виробничих територій може стати причиною багатьох важких і смертельних випадків, таких, як наїзд самохідних засобів механізації, що рухаються.

Коли правильно розраховано і підібрано освітлення виробничих приміщень, очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці. Такі умови освітлення сприяють зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

До переваг природного освітлення можна віднести те, що воно сприятливо впливає на органи зору та покращує розвиток організму у цілому. До недоліків відносять – непостійне освітлення у різні періоди доби та року; нерівномірний розподіл освітленості по площі виробничого приміщення; можливість засліплення органів зору [37]. Недостатня або надмірна освітленість можуть стати причиною розвитку короткозорості, зниження гостроти зору [38].

Природне і штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5.28-2006 від характеристики зорової роботи, найменшого розміру

об'єкта розрізнення, розряду зорової роботи (I-VIII), системи освітлення, характеристики фону, контрасту об'єкта розрізнення з фоном.

У кімнаті здійснюється природне бокове освітлення, вікна з південного боку. Відстань до місця основної роботи складає 1,5 м. Робота, що виконується відноситься до роботи середньої точності (четвертий розряд зорових робіт). Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (20 одиниць у кімнаті). Освітлення кімнати відповідає встановленому по ДБН В.2.5.28-2006 рівню в 200 лк [39].

5.2.3 Аналіз шуму та вібрації

Шум – це механічні коливання часток пружного середовища (газу, рідини, твердого тіла), що виникають під впливом будь-якої зовнішньої сили [39]. Науково-дослідницька робота виконувалась на установці УЗГ-300, що видає певний шум та вібрацію під час роботи.

Шум, навіть при відносно незначних рівнях звука (50 – 60) дБА, підвищує навантаження на нервову систему людини, що дуже відчутно за умов зайняття розумовою діяльністю. Він збуджує нервову систему, підвищує тиск крові, веде до передчасної втоми, викликає головний біль. Доказано, що багато захворювань (гіпертонічна та виразкова хвороби, неврози, шлунково-кишкові і шкіряні захворювання) пов'язано з перенапруженням нервової системи у процесі праці та відпочинку. Так, дія шуму 90 дБА і вище веде до зниження чутливості слухових органів, а іноді, в особливо незадовільних умовах на промислових підприємствах, до виникнення професійного захворювання – сенсоневральної приглухуватості. Дія шуму дуже високих рівнів (більш ніж 145 дБА) може призвести до пошкодження барабанної перетинки [39].

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99. У ньому встановлені параметри шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для різних видів трудової діяльності [42].

Вібрація це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму [36]. Під впливом інтенсивної вібрації (особливо локальної), в організмі людини відбуваються функціональні зміни окремих систем і регуляторної функції центральної нервової системи. Вібрація викликає появу вібраційної хвороби, що може призвести до втрати працездатності. Вібраційна хвороба може виявлятися у вигляді порушення діяльності вестибулярного апарата, зниженні температурної та больової чутливості людини [38].

Нормуються параметри вібрації відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій та ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность. Общие требования» [38].

Установка УЗГ-300 працює в ультразвуковому діапазоні. Обробка зразків здійснюється від 0,5 хв до 5 хв. Схема проведення УЗУО на рисунку 2.6. Вибір параметрів УЗУО описаний у підрозділі 2.3 Методика та режими ультразвукової ударної обробки.

Під час обробки персонал також одягає навушники. Вплив від вібрації не зазнається, так як немає контакту людини з установкою під час обробки. З метою профілактики шкідливого впливу ультразвуку, використовується малопотужне ультразвукове обладнання. Щоб уникнути розповсюдження ультразвуку, установка обладнана звукоізолюючим кожухом покритими гумою.

В нашому випадку рівень шуму та вібрації знаходиться в межах норми

5.3 Інженерні рішення

5.3.1 Електробезпека

Кімната № 508, в якій проводилася науково-дослідницька робота відносять до приміщення без підвищеної небезпеки, відповідно до джерела

[42]. Електричні прилади живляться напругою 220 В (комп'ютери та орг. техніка, ПМТ- 3, УЗГ-300) зі змінним струмом та частотою 50 Гц.

Причинами ураження електричним струмом є :

- пошкодження ізоляції (наприклад, розплавлений метал) та, як наслідок, доступність до струмоведучих частин обладнання;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах внаслідок помилкового включення установки;
- невиконання або неправильне виконання вимог техніки електробезпеки, неуважність при роботі.

Причинами враження електричним струмом під час виконання трудового процесу з електрообладнанням є:

- 1) випадковий дотик до струмоведучих частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів недоступності або безвідповідальне відношення до безпеки персоналу;
- 2) дотик до неструмоведучих частин електроприладів випадково потраплених під напругу через ушкодження ізоляції чи іншого ушкодження;
- 3) потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключених електроприладах через помилкове їх включення.

Гранично допустимий струм через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для перемінного струму і 1 мА для постійного [36].

На тяжкість ураження струмом впливають такі фактори [36]:

- вплив стану шкіряного шару (порізи, подряпини, зволоження, збільшене потовиділення, забруднення шкіряного шару можуть призвести до значного зменшення загального опору тіла людини електричному струму);
- вплив параметрів електричного струму (постійний чи змінний струм, величина електричного струму).

Небезпека для організму людини тим менша, чим менша тривалість впливу струму. При тривалому впливі струму опір тіла людини падає і струм зростає до значення, здатного викликати зупинку дихання або навіть

фібриляцію серця. Підвищена вологість повітря, струмовідний пил та хімічно активні домішки знижують опір ізоляції електроустановки, сприяють переходу напруги на не струмовідні частини установки, коротким замиканням тощо і, таким чином, підвищують небезпеку електротравм [35].

Протікання електричного струму через організм людини являє собою складний процес, який супроводжується значним спектром фізико-біологічних та хімічних реакцій, основними з яких є термічна, електролітична, механічна та біологічна. Термічна реакція тканин організму людини виникає внаслідок перетворення електричної енергії в теплову. Електролітична дія електричного струму на живі тканини полягає в розкладанні внутрішньоклітинної органічної рідини на іони. Механічна реакція організму людини на протікання електричного струму виявляється у вигляді електродинамічного ефекту, який полягає, наприклад, у різкому скороченні м'язових тканин. Біологічна реакція організму людини на електричний струм формується в результаті його дії на внутрішні біоелектричні процеси, в подразненні живих тканин [36].

У кімнаті, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів, відповідно до джерела [44].

5.4 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання

населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків [45].

Під час виконання науково-дослідницької роботи можливе виникнення наступних надзвичайних ситуацій: пожежі, землетрусу, вибуху, аварії на електроенергетичних системах, руйнування будівлі.

5.4.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей .

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків

Проаналізуємо імовірність виникнення пожежі в приміщенні та засобів її запобігання.

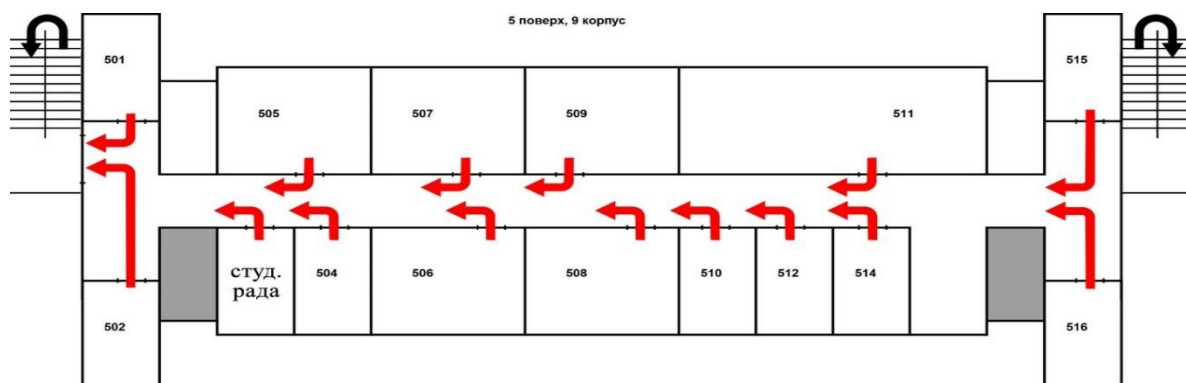
Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення кімнати 508-9 за пожежонебезпекою відноситься до категорії «В» (в лабораторії є горючі та важко горючі рідини, також тверді горючі та важко горючі речовини). Приміщення в якому вони знаходяться не відносяться до категорії А або Б). У приміщенні найбільш пожежонебезпечним місцем є місце де розміщено комп'ютерну техніку, місце де прокладена електропроводка. Загоряння може відбутися через коротке замикання в електропроводці [46]. Кімната водою із

загальної мережі водопроводу, порошковими вогнегасниками оснащена для гасіння пожежі. План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на рис. 5.2.

Із засобів пожежогасіння у лабораторії є вогнегасники ОУБ-2 (вуглекисотно-брометиловий). Умови роботи задовольняють обмеженням на використанні вогнегасників цих типів (напруга електропристроїв не більше, ніж 1000 В). Засобами виявлення й оповіщення про пожежу є автоматичні датчики-сигналізатори про пожежу типу ДТП, що реагують на підвищення температури. У випадку пожежі на електроустановці, що знаходиться під напругою виникле полум'я не гаситься водою, а використовується вуглекислотний чи вуглекислотноброметиловий вогнегасник.

Основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500 В; обережне відношення з легкоплавкими речовинами.

Засобом оповіщення співробітників про пожежу служить внутрішній службовий зв'язок. На випадок пожежі є план евакуації з будівлі (рис. 5.2).



Рисунк 5.2 – План евакуації

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб. У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це головного інженера або начальника лабораторії та звернутися в медпункт.

5.5 Висновки до розділу 5

1. У даній роботі дослідження, які проводяться згідно плану, є екологічно чистими і не є джерелом забруднення навколишнього середовища.

2. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів, передбачає умови при яких може виникнути небезпека ураження організму вібрацією, внаслідок використання ультразвуку та ураження електричним струмом, внаслідок пошкодження ізоляції кабелів.

3. Мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. Рівень шуму, вібрацій та

випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Проведено комплексні експериментальні дослідження, результати яких дозволили встановити закономірності впливу на структуру, фазовий склад, напружений стан та мікротвердість приповерхневих шарів латуні ЛС59-1 після ультразвукової ударної обробки в інертному середовищі та на повітрі.

2. Підвищення мікротвердості поверхні латуні ЛС59-1 до $Hv_{100} = 4,64$ ГПа (ефект зміцнення $\sim 3,5$ рази) ультразвуковою ударною обробкою на повітрі відбувається за рахунок синергетичного вливу процесів диспергування зеренної структури, зміни фазового складу та утворенню залишкових стискаючих напружень $\sigma = -1,4$ ГПа.

3. Зміцнення поверхні латуні ЛС59-1 в процесі ультразвукової ударної обробки в інертному середовищі відбувається за рахунок деформаційного наклепу, подрібнення зеренної структури та зміни фазового складу. Максимальний ефект зміцнення становить до 2 разів.

4. Значно менше зростання мікротвердості при обробці в інертному середовищі ($Hv_{100} = 2,47$ ГПа), порівняно з обробкою на повітрі ($Hv_{100} = 4,64$ ГПа), за однакової тривалості та параметрів ультразвукової ударної обробки досягається за рахунок формування менш напруженого стану в поверхневому шарі в процесі обробки. При обробці на повітрі величина залишкових стискаючих напружень $\sim 4,2$ рази більша порівняно з обробкою в інертному середовищі.

5. Розроблений стартап-проект даної науково-дослідної роботи показав, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

6. Всі дослідження, які проводились згідно плану, є екологічно чистими і не є джерелом забруднення навколишнього середовища. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів передбачає умови при яких може виникнути небезпека ураження організму. Запропоновано заходи для уникнення травмування в процесі дослідження даної науково дослідницької

роботи. Таким чином, мікроклімат, організація робочого місця, освітлення, в лабораторії відповідає вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій не перевищує допустимих норм.

CONCLUSIONS

1. Complex experimental experiments were carried out, the results of which led to the establishment of anomalies of influence on the structure, the phase composition, the microstresses stones, and the microhardness of the surface layers of brass LS59-1 after the ultrasonic impact treatment in the inert environment and in the air.

2. Increasing the microhardness of the brass LS59-1 to $Hv_{100} = 4.64$ GPa (effect of enhancement of ~ 3.5 degree), ultrasonic impact treatment in the air is obtained from a synergistic flow of milling processes of the grain structure, changes in phase constants and the formation of residual compressive stresses $\sigma = -1,4$ GPa.

3. The strengthening of the brass LS59-1 in the process of ultrasonic impact treatment in an inert environment is derived from the rationale of the plastic deformation, grains of the structure and changes of the phase composition. Maximize the effect of strengthening to more than twice.

4. It is known that the microstructure is less visible when tested in an inert environment ($Hv_{100} = 2.47$ GPa), compared with the reference to in the air ($Hv_{100} = 4.64$ GPa), for some time and time, the ultrasonic impact treatment level is reached on the basis of the formation of a less stagnant wall in the supernumerary shaft in the processing. When processing in the air, the magnitude of the remaining compressive stresses is ~ 4.2 revs higher than the equivalent in the inert environment.

5. The research project is based on the results of the newly-completed research work, which is based on the goal of the investigation with an exogenous footprint.

6. All researches that came from the last plan are ecologically clean and are not a source of contamination in the native middle environment. In the analysis made of harmful and dangerous phacoirs provide for the ability to deal with the danger of the occurrence of an outbreak. The tactic to avoid injury in the process of

investigating in this science research be proposed. In such a way, the microclimate, the organization of the place of work, the enlightenment, and in the work of the lord revokes the appearance of the sacramental norms. A level of noise, gravitation does not exceed the allowed values.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васильев М.А. Нанокристаллизация металлических поверхностей методами ИПД / М.А. Васильев, Г.И. Прокопенко, В.С. Филатов. – Институт металлофизики им. Г.В.Курдюмова НАН Украины. – 2004.
2. Патент № UA 68264. Ультразвуковой інструмент для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів/ Г.І. Прокопенко, О.Ф. Луговський, В.І. Чорний [та інші]. – заявл. 18.12.02; опубл. 15.07.04, Бюл. № 7.
3. Белоцкий А.В. Ультразвуковое упрочнение металлов / А.В. Белоцкий, В.Н. Винниченко, И.М. Муха . – Киев : Тэхника, 1989. - 167 с.
4. Патент №1199598. Ультразвукова головка для деформаційного зміцнення металевих поверхонь/ О.В. Козлов, Г.І. Прокопенко. – СРСР, 1985, Бюл. №47.
5. Патент №1278182. Спосіб ультразвукової обробки довгомірних виробів/ Г.І. Прокопенко, І.О. Скиба, О.О. Дринь. – СРСР, МПК В24В1/04, 1986.
6. Патент Росії №2127658. Спосіб обробки поверхню матеріалів і приладів для її здійснення/ В.Д. Гончаров, Д.С. Самсонов, Е.М. Фискин . – МПК В24В1/04, 1999.
7. Патент №79670. Спосіб вакуумно-дугового осадження покриттів на внутрішні поверхні довгомірних виробів/ Л.М. Денейко, В.М. Надтока, Р.В. Панков. – МПК В24В 39/00 В24В 1/04, 2006.
8. Патент № 151278182. Спосіб ультразвукової ударної обробки поверхонь деталей та зварних з'єднань/ Ю.Ф. Кудрявцев, А.В. Мовчанюк, О.Ф. Луговський. – МПК В24В 1/04, 1986.
9. Патент № 1821342. Ультразвуковой інструмент для ударної обробки деталей та зварних з'єднань/ А.В. Мовчанюк, Я. І. Клейман. – МПК В24В 39/00, 1/04, 1993.
10. Патент № 23001. Комплект зрошувальний пересувний/ Ю.І. Гринь, В.В. Удовенко, А.І. Штангей. – МПК С21D 1/04, 1998, Бюл. № 3.

11. Патент № 11416. Пристрій для зміцнення зовнішніх циліндричних поверхонь деталей/ Ю.І. Бабей, Т.М. Калічак, В.І. Кирилів. – МПК: В24В 39/00, 1996.

12. Механохимические процессы на поверхности сплава ВТ6 при ультразвуковой ударной обработке на воздухе / М.А. Васильев, В.А. Тиньков, С.М. Волошко [та інші]. – Металлофизика и новейшие технологии. –34, № 5 – 2012, с. 687–695;

13.Васильев М.А. Механохимическое окисление поверхности металлических сплавов под действием интенсивной пластической деформации / М. А. Васильев, С. М. Волошко, Л. Ф. Яценко. – Успехи физики металлов. – 15, № 2 – 2014 , с.79-100

14. Патент №79670. Спосіб визначення температури на фронті кристалізації злитків легованих монокристалів/ А.В. Прохорович, В.О, Краснов, О.М. Деменський. – МПК В24В 39/00 В24В 1/04, 2006.

15. Ультразвукова ударна обробка алюмінієвого сплаву Д16 в інертному середовищі та рідкому азоті /С.І. Сидоренко, С.М.Волошко, І.Є. Котенко, А.П. Бурмак. – Металлофизика и новейшие технологии. – 33, №12 – 2011, с. 1659 – 1669.

16. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно–оптический анализ: [учеб. пособие для вузов.] / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – М.: МИСИС. –1994. – 328 с.

17. Гоулдстейн Дж. Практическая растровая микроскопия / Дж. Гоулдстейн, Х. Яковица. – М.: Мир. – 1978, 656 с.

18. Wang L. Mechanical, electrochemical and tribological properties of nanocrystalline surface of brass produced by sandblasting and annealing/L. Wang, D.Y.Li. – Surface Coat. Tech. – Vol. 37. – 22 April 2003 p. 167 –188

19. Moraless J. A comparative study on the passivation and localized corrosion of α - and β -brass in borate buffer solutions containing sodium chloride- II. X-ray photoelectron and Auger electron spectroscopy data/ J.Moraless, P. Esparza, G.T.Fernandez. – Corros. Sci. – Vol. 167. – February 1995 p. 37: 231

20. Ismail K.M. effects of Zn and Pb as alloying elements on the electrochemical behaviour of brass in borate solutions/ K.M. Ismail, S.S. El-Egamy, M. AbdelfatahS. – Appl. Electrochim. – Vol. 31. – №31 – June 2001, p. 663.
21. Osman M.M. Vibrational and electronic spectroscopic properties of zirconia powders/ M.M Osman, E. F. López. – Mater. Chem. Phys. – Vol. 71. – October 2001, p. 245.
22. Liao M. Effects of ultrasonic impact treatment on fatigue behavior of naturally exfoliated aluminum alloys / M. Liao, W. R. Chen, N. C. Bellinger. – International Journal of Fatigue – 2008. – Vol. 30. – Iss. 4. P. 717 – 726.
23. Mechanisms of surface roughening of commercial purity titanium during ultrasonic impact treatment/A.V.Panin, M.S.Kazachenok, A.I.Kozelskaya, R.R.Hairullin. – Materials Science and Engineering. – Vol. 647. – 28 october 2015, pages 43-50.
24. Gao W. Enhancement of the fatigue strength of underwater wet welds by grinding and ultrasonic impact treatment/ W. Gao, D. Wang, F. Cheng, C. Deng. – Journal of Materials Processing Technology. – Vol. 223. – september 2015, pages 305-312.
25. Xinjun Y. Optimization of the fatigue resistance of AISI304 stainless steel by ultrasonic impact treatment/ Y. Xinjun, L. Xinjun, Z. Jianxin. – International Journal of Fatigue. – Vol. 61. – april 2014, pages 28-38.
26. Liu Y. Influence of re-ultrasonic impact treatment on fatigue behaviors of S690QL welded joints/ Y. Liu, D. Wang, C. Deng, L. Xia. – International Journal of Fatigue. – Vol. 66. – september 2014, pages 155-160
27. Structure evolution in coarse-grained nickel under ultrasonic treatment/ A.P. Zhilyaev, A.A. Samigullina, A.A. Nazarov, E.R. Shayakhmetova. – Materials Science and Engineering. – Vol. 731. – 25 july 2018, pages 231-238.
28. Softening and hardening of ECAP nickel under ultrasonic treatment/ A.P. Zhilyaev, A.A. Samigullina, A.E.Medvedeva, S.N.Sergeev. – Materials Science and Engineering. – Vol. 698. – 20 june 2017, pages 136-142.

29. Fatigue behavior of welded coverplates treated with Ultrasonic Impact Treatment and bolting/ B.Vilhauer, C. R. Bennett, A. B. Matamoros, S. T. Rolfe. – Engineering Structures. – Vol. 34. – january 2012, pages 163-172.

30. Berg-Pollack A. Fatigue strength improvement by ultrasonic impact treatment of highly stressed spokes of cast aluminium wheels/ A.Berg-Pollack, J.Voellmecke, C.M.Sonsino. – International Journal of Fatigue– Vol. 33. – april 2011, pages 513-518.

31. Закон України "Про охорону праці", затверджений Постановою Верховної Ради України від 21.11.2002 р. № 229-IV.

32. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник. – 5-те вид./ М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. – К.: Каравела, 2011. – 384 с.

33. Дсан ПІН 3.32.007–98 – Будівельні норми і правила.

34. ДСН 3.3.6.042–99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

35. ГОСТ 12.1.005-88 – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

36. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, [та ін.]. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

37. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько // Міністерство освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

38. Серіков Я.О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студен- тів вищих закладів освіти / Я.О. Серіков. – Харків, ХНАМГ, 2007. - 227с.

39. ДБН В.2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення.

40. Москальова В.М. Охорона праці: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / В.М. Москальова. – Рівне: НУВГП , 2009.

41. Електричне освітлення та опромінення: методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів факультету енергетики та автоматики / Національний університет біоресурсів і природокористування України ; уклад. Л. С. Червінський. – К. : Видавничий центр НУБіП України, 2014. - 59 с.

42. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

43. ПУЕ-86 – Правила улаштування електроустановок.

44. ГОСТ 12.1.009-76 – Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.

45. Кодекс цивільного захисту України, затверджений Верховною Радою України від 02.10.2012р. № 5403-V.

46. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.